



**TUGAS AKHIR – SS 141501**

**PENENTUAN KEBIJAKAN WAKTU OPTIMUM  
PERBAIKAN KOMPONEN MESIN FINISH MILL DI  
PT. SEMEN INDONESIA, Tbk PLANT TUBAN**

**AYUB SAMUEL YOSEPHA**  
**NRP 1315 105 015**

Dosen Pembimbing  
Dr. Muhammad Mashuri, MT  
Diaz Fitra Aksioma, M.Si

**PROGRAM STUDI SARJANA**  
**DEPARTEMEN STATISTIKA**  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017



**TUGAS AKHIR – SS 141501**

**PENENTUAN KEBIJAKAN WAKTU OPTIMUM  
PERBAIKAN KOMPONEN MESIN *FINISH MILL*  
DI PT. SEMEN INDONESIA, Tbk PLANT TUBAN**

AYUB SAMUEL YOSEPHA  
NRP 1315 105 015

Dosen Pembimbing  
Dr. Muhammad Mashuri, MT  
Diaz Fitra Aksioma, M.Si

PROGRAM STUDI SARJANA  
DEPARTEMEN STATISTIKA  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017



**FINAL PROJECT – SS 141501**

**DETERMINATION OF OPTIMUM TIME  
POLICY IMPROVEMENT OF FINISH MILL  
MACHINERY COMPONENTS IN PT. SEMEN  
INDONESIA, Tbk PLANT TUBAN**

**AYUB SAMUEL YOSEPHA**  
**NRP 1315 105 015**

Supervisor  
Dr. Muhammad Mashuri, MT  
Diaz Fitra Aksioma, M.Si

Undergraduate Programme  
Department of Statistics  
Faculty of Mathematics and Natural Sciences  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017

## LEMBAR PENGESAHAN

### PENENTUAN KEBIJAKAN WAKTU OPTIMUM PERBAIKAN KOMPONEN MESIN FINISH MILL DI PT. SEMEN INDONESIA, Tbk PLANT TUBAN

#### TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Sains  
pada

Program Studi Sarjana Departemen Statistika  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**AYUB SAMUEL YOSEPHA**

NRP. 1315 105 015

Disetujui oleh Pembimbing:  
Dr. Muhammad Mashuri, M.T.  
NIP. 19620408 198701 1 001

(  )

Diaz Fitra Aksioma, M.Si.  
NIP. 19870602 201212 2 002

(  )

Mengetahui,  
Kepala Departemen



  
Dr. Suhartono

NIP. 19710929 199512 1 001

SURABAYA, JULI 2017

# **PENENTUAN KEBIJAKAN WAKTU OPTIMUM PERBAIKAN KOMPONEN MESIN *FINISH MILL* DI PT. SEMEN INDONESIA, Tbk PLANT TUBAN**

**Nama Mahasiswa** : Ayub Samuel Yosepha  
**NRP** : 1315 105 015  
**Departemen** : Statistika FMIPA-ITS  
**Dosen Pembimbing 1** : Dr. Muhammad Mashuri, MT  
**Dosen Pembimbing 2** : Diaz Fitra Aksioma, M.Si

## **Abstrak**

*Dalam perkembangan bidang industri, mesin merupakan komponen pokok dalam suatu perusahaan. Untuk mendapatkan mesin yang baik maka diperlukan pengontrolan. Salah satu metode yang digunakan adalah penentuan waktu perbaikan antara lain corrective dan preventive maintenance dengan biaya menjadi pertimbangan dalam penentuan tersebut. PT. Semen Indonesia, Tbk Plant Tuban sebagai salah satu perusahaan semen terbaik di Indonesia mengalami permasalahan dalam memenuhi target produksi serta biaya perawatan yang tinggi. Salah satu yang sering terjadi kerusakan dalam sistem adalah mesin finish mill. Oleh karena itu diperlukan suatu metode untuk dapat menyelesaikan persoalan tersebut, salah satunya adalah analisis reliabilitas. Komponen penting dalam analisis reliabilitas antara lain laju kerusakan, Mean Time to Failure (MTTF) dan fungsi reliabilitas. Sehingga dalam penelitian ini akan digunakan analisis reliabilitas dalam melakukan optimasi preventive maintenance untuk meminimumkan biaya pengeluaran pemeliharaan. Berdasarkan perhitungan estimasi biaya dan waktu minimum, didapatkan kesimpulan waktu preventive mesin finish mill 5 dan finish mill 6. Estimasi waktu preventive yang disarankan untuk mesin finish mill 5 pada waktu 2250 jam dengan biaya paling minimum adalah Rp. 4.765.954,57 per jam perbaikan. Sedangkan mesin finish mill 6, estimasi waktu preventive yang disarankan pada waktu 2500 jam dengan estimasi biaya paling minimum sebesar Rp. 4.074.874,83 per jam perbaikan.*

**Kata Kunci** : Analisis Reliabilitas, Mean Time to Failure, Mesin Finish Mill, Preventive Maintenance.

*Halaman ini sengaja dikosongkan.*

**DETERMINATION OF OPTIMUM TIME POLICY  
IMPROVEMENT OF FINISH MILL MACHINERY  
COMPONENTS IN PT. SEMEN INDONESIA, Tbk PLANT  
TUBAN**

**Student Name** : Ayub Samuel Yosepha  
**Student Number** : 1315 105 015  
**Department** : Statistics FMIPA-ITS  
**Supervisor 1** : Dr. Muhammad Mashuri, MT  
**Supervisor 2** : Diaz Fitra Aksioma, M.Si

**Abstract**

*In the development of industry, the machine is a basic component in a company that can be said either is a machine capable of producing maximum output with minimal input. To get the goal is required to control the machines. One of the methods used in the determination of corrective action are corrective maintenance and preventive maintenance with the operational cost of improvement becomes the main consideration in determining it. One of the most frequent breakdowns in machine systems is the mill machine. Therefore needed a method to be able to solve the problem, one of them is analysis of reliability. Important components in reliability analysis include rate of damage, mean time to failure (MTTF) and reliability function. So in this research will be used reliability analysis in doing preventive maintenance optimization at PT. Semen Indonesia, Tbk Plant Tuban to minimize maintenance expenditure costs. Based on the calculation of minimum cost and time estimation, it can be concluded for the preventive time of the 5th and the 6th mill finishing machine. Estimated recommended preventive time for 5th mill machine at 2250 hours the machine works with the minimum estimated preventive cost is Rp. 4.765954,57 per hour. As for the 6th mill machines, the estimated preventive time suggested at 2500 hours with estimated preventive costs of Rp.4.074.874,83.*

**Keyword** : *Reliability Analysis, Mean Time to Failure, Finish Mill Machine, Preventive Maintenance.*

*Page is Blank.*



## KATA PENGANTAR

Salam,

Damai Sejahtera ada pada kita.

Puji Syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa karena berkat kasih karunia-Nya yang begitu besar penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **“Penentuan Kebijakan Waktu Optimum Perbaikan Komponen Mesin *Finish Mill* di PT. Semen Indonesia, Tbk Plant Tuban”**

Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan bantuan, dukungan dan peran serta dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Muhammad Mashuri, M.T dan Ibu Diaz Fitra Aksioma, M.Si selaku dosen pembimbing yang dengan ikhlas membantu memberikan waktu, tenaga dan pikiran serta nasehat kepada penulis dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Drs. Haryono, MSIE dan Ibu Dra. Wiwiek Setya, M.S selaku dosen penguji yang telah memberikan saran, kritik dan masukan demi kesempurnaan Tugas Akhir.
3. Bapak Dr. Suhartono selaku Kepala Departemen Statistika yang telah menyediakan fasilitas guna kelancaran Tugas Akhir.
4. Bapak Dr. Sutikno, M.Si selaku Koordinator Program Studi S1 yang telah membimbing dan memotivasi penulis selama menjadi mahasiswa.
5. Bapak Prof. Drs. Nur Iriawan, M.IKom, PhD selaku dosen wali yang telah memberikan banyak motivasi dan nasehat kepada penulis.
6. Seluruh civitas akademika Jurusan Statistika ITS yang telah memberikan banyak ilmu dan pelajaran hidup.
7. Seluruh Karyawan Perusahaan yang telah membantu dalam pengumpulan data dan administrasi perusahaan.
8. Orangtua dan adik penulis yang selama ini selalu memberikan motivasi hidup terbesar selama 23 tahun lebih kepada penulis. Tugas Akhir ini hanya sebagian kecil yang

bisa diberikan penulis untuk membalas kasih sayang yang telah diberikan.

9. Sahabat penulis, Danang Angga Prastyo Hartono, S.T yang telah memberikan dukungan dan motivasi besar bagi penulis.
10. Teman-teman S1 Lintas Jalur Statistika ITS 2015 yang telah bekerja dalam team, dan memberikan bantuan serta bimbingan selama ini.
11. Keluarga Besar Badan Eksekutif Mahasiswa Institut Teknologi Sepuluh Nopember 2015/2016 yang telah memberikan banyak Ilmu dan Pelajaran berharga.
12. Keluarga Tim Pemandu Reformasi LKMM TM ITS 2016. Terimakasih Pemandu dan Fasilitator untuk pembelajarannya.
13. Pihak-pihak lain yang telah mendukung dan membantu atas terselesaikannya tugas akhir ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis berharap semoga laporan tugas akhir ini bermanfaat dan menambah wawasan keilmuan bagi kita semua. Serta mengharapkan saran dan kritik yang membangun untuk perbaikan di masa yang akan datang.

Salam,

Surabaya, Juli 2017

**Penulis**

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	iii
<b>ABSTRAK</b> .....	v
<b>ABSTRACT</b> .....	vii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	ix
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xi
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xiii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xv
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xvii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Manfaat Penelitian .....	4
1.5 Batasan Masalah.....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Pengujian Distribusi .....	5
2.2 <i>Maximum Likelihood Estimation</i> .....	6
2.3 Analisis Reliabilitas .....	7
2.4 Ekspetasi Biaya dan Waktu <i>Preventive Maintenance</i> .....	9
2.5 Sistem Produksi Mesin Produksi di PT. Semen Indonesia, Tbk Plant Tuban .....	10
2.6 Mesin <i>Finish Mill</i> .....	11
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>	
3.1 Sumber Data.....	15
3.2 Variabel Penelitian .....	15
3.3 Langkah Analisis.....	16

#### **BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

4.1	Karakteristik <i>Lifetime</i> dan <i>Downtime</i> Mesin <i>Finish Mill</i> .	19
4.2	Penentuan Distribusi <i>Lifetime</i> Mesin <i>Finish Mill</i> .....	20
4.3	Analisis Reliabilitas .....	22
4.4	Optimasi Waktu <i>Preventive Maintenance</i> Berdasarkan Biaya Minimum.....	35

#### **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

5.1	Kesimpulan .....	41
5.2	Saran.....	41

<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	43
-----------------------------	----

<b>LAMPIRAN</b> .....	45
-----------------------	----

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1	Sistem Produksi PT. Semen Indonesia, Tbk Plant Tuban ..... 11
Gambar 2.2	Mesin <i>Finish Mill</i> ..... 12
Gambar 3.1	Diagram Alir..... 17
Gambar 4.1	Plot Probabilitas Mesin <i>Finish Mill</i> 5 ..... 21
Gambar 4.2	Plot Probabilitas Mesin <i>Finish Mill</i> 6 ..... 22
Gambar 4.3	Bentuk Plot Distribusi <i>Lifetime</i> Mesin <i>Finish Mill</i> 5 ..... 23
Gambar 4.4	Bentuk Plot Distribusi <i>Lifetime</i> Mesin <i>Finish Mill</i> 6 ..... 24
Gambar 4.5	Plot Reliabilitas Mesin <i>Finish Mill</i> 5..... 27
Gambar 4.6	Plot Laju Kerusakan Mesin <i>Finish Mill</i> 5..... 29
Gambar 4.7	Plot Reliabilitas Mesin <i>Finish Mill</i> 6..... 32
Gambar 4.8	Plot Laju Kerusakan Mesin <i>Finish Mill</i> 6..... 34
Gambar 4.9	Plot Nilai $t$ dan $C(tp)$ Mesin <i>Finish Mill</i> 5..... 36
Gambar 4.10	Plot Nilai $t$ dan $C(tp)$ Mesin <i>Finish Mill</i> 6..... 39

*Halaman Sengaja Dikosongkan*

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1 Stuktur Data Penelitian .....	15
Tabel 4.1 Statsitika Deskriptif Mesin <i>Finish Mill</i> .....	19
Tabel 4.2 Parameter Distribusi Mesin <i>Finish Mill</i> .....	23
Tabel 4.3 Reliabilitas Mesin <i>Finish Mill 5</i> .....	27
Tabel 4.4 Laju Kerusakan Mesin <i>Finish Mill 5</i> .....	28
Tabel 4.5 Reliabilitas Mesin <i>Finish Mill 6</i> .....	31
Tabel 4.6 Laju Kerusakan Mesin <i>Finish Mill 6</i> .....	33
Tabel 4.7 Nilai Cf dan Cp Mesin <i>Finish Mill 5</i> .....	35
Tabel 4.8 Nilai Cf dan Cp Mesin <i>Finish Mill 6</i> .....	37

*Halaman Sengaja Dikosongkan*



## DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1 Data <i>Lifetime</i> dan <i>Downtime</i> Mesin <i>Finish Mill</i> 5 dan 6.....	45
Lampiran 2 Statistika Deskriptif Mesin <i>Finish Mill</i> .....	45
Lampiran 3 Rekapitulasi Hasil Produksi Semen Mesin <i>Finish Mill</i> .....	46
Lampiran 4 Rekapitulasi Biaya <i>Preventive Maintenance</i> Mesin <i>Finish Mill</i> .....	46
Lampiran 5 <i>Output</i> Optimasi <i>tp</i> dan <i>Ctp</i> <i>Preventive Maintenance</i> .....	47

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Data Asosiasi Semen Indonesia tahun 2013, menunjukkan bahwa kebutuhan terhadap semen mengalami peningkatan dari tahun 2012 hingga tahun 2014. Kenaikan kebutuhan semen diprediksi akan mengalami naik hingga tahun 2017 dikarenakan tingginya pembangunan di Indonesia. Peningkatan kebutuhan semen membuat perusahaan penghasil semen di Indonesia bersaing dalam meningkatkan kapasitas produksi maupun kualitas produk. (PT. Semen Indonesia (Persero), Tbk, 2014) Salah satu penunjang kualitas produksi adanya suatu proses produksi yang baik meliputi mesin-mesin yang berada dalam sebuah sistem. Mesin merupakan komponen pokok dalam suatu perusahaan dimana suatu mesin yang baik adalah mesin yang menghasilkan *output* maksimal tetapi mempunyai frekuensi kerusakan minimal. Untuk mencapai tujuan tersebut, diperlukan pengontrolan terhadap mesin-mesin tersebut. Apabila ditemukan suatu kerusakan, dapat dilakukan tindakan perbaikan. *Maintenance* atau pemeliharaan merupakan suatu kegiatan yang dilakukan secara berulang dan terjadwal dengan tujuan agar peralatan selalu memiliki kondisi yang sama seperti keadaan awal saat mesin melakukan proses produksi (Mobley, Higgins, & Wikoff, 2008).

Ketika sektor industri pabrik penghasil semen berkompetisi dengan ketat, mesin menjadi sektor yang sangat penting dalam proses produksi di industri tersebut. Waktu *downtime* mesin menjadi hal yang sangat perlu di perhatikan secara lebih bijak. Sebelum mesin mengalami proses *breakdown*, pihak industri biasanya akan melakukan kegiatan *maintenance* atau pemeliharaan berupa *planned preventive maintenance* yang bertujuan untuk mengganti ataupun *overhaul* pada mesin tersebut.

Ditengah persaingan yang semakin ketat, PT. Semen Indonesia, Tbk Plant Tuban sebagai salah satu perusahaan penghasil semen mengalami permasalahan dalam memenuhi target produksi

serta pengeluaran biaya perawatan. Mesin-mesin produksi yang terdapat di PT. Semen Indonesia, Tbk Plant Tuban merupakan mesin dengan spesifikasi terbaru dan tercanggih dibandingkan dengan mesin-mesin di perusahaan lainnya. Kapasitas produksi yang dihasilkan juga cukup tinggi, namun ada beberapa hal dimana waktu produksi kadang tidak sesuai dengan rancangan produksi tahunan. Hal ini disebabkan oleh reliabilitas mesin yang masih rendah. Mesin-mesin pada PT. Semen Indonesia, Tbk Plant Tuban sering mengalami kerusakan dengan selang waktu singkat setelah mendapat perbaikan (Astarini & Haryono, 2015). Kebijakan *maintenance* yang diterapkan oleh PT. Semen Indonesia, Tbk Plant Tuban adalah *preventive maintenance*. Namun tak jarang *corrective maintenance* juga dilakukan ketika ditengah perjalanannya mesin mengalami kerusakan sehingga biaya *maintenance* yang dikeluarkan PT. Semen Indonesia, Tbk Plant Tuban lebih tinggi (Fadhil & Mashuri, 2016). Sebagai bentuk evaluasi dan peningkatan *performance* mesin *finish mill*, dapat dilakukan penelitian menggunakan analisis reliabilitas. Mesin *finish mill* dipilih karena merupakan salah satu bagian penting dalam produksi semen. Mesin *finish mill* merupakan mesin penggilingan tahap akhir dimana produk semen dihasilkan dengan baik. Oleh karena itu, mesin *finish mill* merupakan mesin yang memiliki peranan yang cukup vital.

Analisis Reliabilitas merupakan cabang dari ilmu statistik yang meneliti mengenai kehandalan suatu mesin dalam melakukan proses. Analisis Reliabilitas adalah peluang suatu mesin untuk bekerja dengan sebagaimana mestinya pada waktu dan kondisi tertentu. Pada dasarnya analisis reliabilitas merupakan suatu metode untuk mengetahui umur suatu mesin sehingga dapat ditentukan kapan mesin memerlukan *maintenance* atau perawatan. Komponen-komponen penting dalam analisis reliabilitas antara lain laju kerusakan, *mean time to failure* (MTTF), dan fungsi reliabilitas. Dengan mengetahui informasi tersebut, dapat disusun sebuah rencana pemeliharaan untuk menanggulangi kerusakan

mesin yang dapat terjadi atau sering disebut *preventive maintenance*.

Perencanaan perawatan mesin *finish mill* dilakukan secara *preventive maintenance* di PT. Semen Indonesia, Tbk Plant Tuban telah terjadwal secara periodik atau berkala, namun sering kali dilakukan diluar jadwal karena mesin mengalami kerusakan, oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk melakukan perencanaan perawatan berdasarkan reliabilitas suatu mesin sehingga dapat mengurangi biaya perawatan dan memaksimalkan produksi yang dapat memberikan keuntungan maksimal bagi perusahaan.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa mesin *finish mill* selama ini sering mengalami *breakdown* yang menyebabkan mesin terhenti sementara untuk berproduksi. Hal ini mengakibatkan sering tidak terpenuhi target produksi dan menimbulkan biaya kerugian yang lebih besar. Tak jarang *corrective maintenance* dilakukan agar tidak menimbulkan biaya yang lebih besar lagi. Sebagai langkah antisipasi, PT. Semen Indonesia Tbk Plant Tuban menjadwalkan waktu *preventive maintenance* untuk mesin *finish mill* secara periodik, namun dalam praktiknya mesin juga masih mengalami kerusakan selama proses produksi. *Preventive maintenance* digunakan oleh perusahaan untuk meminimumkan biaya dengan menggunakan metode statistika sehingga didapatkan waktu perbaikan atau penggantian komponen yang optimum pada mesin *finish mill*. Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan dilakukan penentuan waktu optimum berdasarkan biaya minimum *preventive maintenance* mesin *finish mill* di PT. Semen Indonesia, Tbk Plant Tuban menggunakan analisis reliabilitas.

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai berdasarkan permasalahan dalam penelitian ini adalah optimasi waktu *preventive maintenance* mesin *finish mill* pada PT. Semen Indonesia, Tbk Plant Tuban de-

ngan menggunakan analisis reliabilitas sehingga didapatkan biaya yang minimum untuk *maintenance*.

#### **1.4 Manfaat Penelitian**

Manfaat yang diharapkan dalam penelitian ini yaitu mampu memberikan informasi mengenai kebijakan waktu *preventive maintenance* mesin *finish mill* yang optimal dengan pengeluaran biaya yang minimum di PT. Semen Indonesia, Tbk Plant Tuban.

#### **1.5 Batasan Masalah**

Batasan masalah yang digunakan pada penelitian adalah sebagai berikut,

1. Mesin *finish mill* yang diteliti adalah mesin *finish mill* 5 dan 6.
2. Perhitungan biaya perawatan dan perbaikan tidak memper-timbangkan laju inflasi.
3. Mesin yang digunakan identik dan independen.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan dibahas beberapa tinjauan pustaka yang terkait dengan penelitian analisa reliabilitas yaitu pengujian distribusi, analisis reliabilitas, *maximum likelihood estimation*, ekspansi biaya dan waktu *preventive maintenance*.

### 2.1 Pengujian Distribusi

Pengujian distribusi dilakukan sebagai langkah sebelum menentukan elemen reliabilitas. Beberapa metode yang dapat digunakan untuk menguji distribusi data yaitu menggunakan pengujian *kolmogorov-smirnov*, *person chi-square*, *cramer-von* dan *anderson-darling*. Pada penelitian ini, metode yang digunakan untuk menguji distribusi data yaitu menggunakan pengujian uji *kolmogorov-smirnov* karena metode *kolmogorov-smirnov* merupakan metode yang sering digunakan untuk melakukan pengujian distribusi.

$H_0$  : Distribusi data sesuai dengan distribusi dugaan

$H_1$  : Distribusi data tidak sesuai dengan distribusi dugaan

Statistik Uji :

$$D_n = \sup |F_n(x) - F(x)| \quad (2.1)$$

dengan  $F_n(x)$  : Fungsi distribusi empiris

$F(x)$  : Fungsi distribusi tertentu

$D_{n,\alpha}$  : Nilai kritis uji *kolmogorov-smirnov* berdasarkan derajat bebas  $n$  dan  $\alpha$  pada tabel *kolmogorov-smirnov* atau biasa disebut  $D$ -tabel.

$D_n$  : Nilai hitung statistik uji *kolmogorov-smirnov* atau biasa disebut  $D$ -hitung.

Jika nilai  $D$ -hitung lebih besar dari  $D$ -tabel atau  $D_n > D_{n,\alpha}$  maka keputusannya adalah Tolak  $H_0$  dengan tingkat signifikansi 0,05 (Govindarajulu, 2007).

## 2.2 Maximum Likelihood Estimation (MLE)

*Maximum Likelihood Estimation* (MLE) merupakan metode penaksiran parameter dengan cara memaksimumkan fungsi *likelihood* pada suatu persamaan. Misalkan terdapat  $t_1, t_2, \dots, t_n$  yang merupakan sampel acak yang saling bebas dari suatu distribusi dengan fungsi kepadatan peluang  $f(t_1, t_2, \dots, t_n; \theta)$ . Fungsi kepadatan peluang yang diduga merupakan model fungsi dugaan dari distribusi Weibull 3P yang diperoleh dari persamaan 2.9 Jika fungsi kepadatan peluang Weibull 3P tersebut dinyatakan sebagai fungsi terhadap  $\theta$  maka dinamakan Fungsi *likelihood* disimbolkan dengan huruf  $L$  yang dinyatakan dalam persamaan berikut.

$$L(t_1, t_2, \dots, t_n; \theta) = \prod_{i=1}^n f(t_i, \theta) \quad (2.2)$$

dengan melakukan perhitungan model dugaan yang diperoleh dari persamaan 2.9 dari distribusi Weibull 3P, maka didapatkan fungsi likelihood pada persamaan 2.3

$$L(t_1, t_2, \dots, t_n; \theta) = \left( \frac{m}{\theta^m} \right)^n \sum_{i=1}^n (t_i - \gamma)^{m-1} \exp \left[ - \sum_{i=1}^n \left( \frac{t_i - \gamma}{\theta} \right)^m \right] \quad (2.3)$$

Jika  $\hat{\theta} = \hat{\theta}(t_1, t_2, \dots, t_n)$  adalah taksiran parameter dari sampel acak  $t_1, t_2, \dots, t_n$  yang merupakan nilai  $\theta$ , maka  $\hat{\theta} = \hat{\theta}(t_1, t_2, \dots, t_n)$  disebut sebagai *Maximum Likelihood Estimation* (MLE) dari  $\theta$ .

Langkah selanjutnya, persamaan (2.3) dirubah ke dalam bentuk logaritma natural sebagai berikut.

$$\ln L(t_1, t_2, \dots, t_n; \theta) = n \ln m + (m-1)$$

$$\sum_{i=1}^n \ln(t_i - \gamma) - nm \ln \theta - \sum_{i=1}^n \left( \frac{t_i - \gamma}{\theta} \right)^m \quad (2.4)$$

Selanjutnya persamaan (2.4) diturunkan terhadap  $\theta_i$  dan dinyatakan sebagai berikut.

$$\frac{\partial \ln L(t_1, t_2, \dots, t_n, \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n)}{\partial \theta_i} = 0 \quad (2.5)$$



dengan  $i = 1, 2, 3, \dots, n$ . untuk mengecek fungsi telah mencapai kondisi optimum, maka persamaan (2.5) diturunkan kembali terhadap  $\theta_i$  dan dinyatakan dalam persamaan berikut.

$$\frac{\partial^2 \ln L(t_1, t_2, \dots, t_k; \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n)}{\partial^2 \theta_i} < 0 \quad (2.6)$$

apabila turunan kedua bernilai negatif atau kurang dari nol, maka fungsi pengamatan dinyatakan mencapai kondisi optimum (Hogg & Craig, 1995).

### 2.3 Analisis Reliabilitas

Analisis Reliabilitas merupakan suatu peluang dimana suatu mesin akan berjalan dengan baik setelah beroperasi beberapa waktu. Dalam analisis reliabilitas terdapat beberapa komponen yaitu:

#### 1. Fungsi Reliabilitas

Fungsi reliabilitas merupakan probabilitas komponen berfungsi baik setelah beberapa waktu. (Dhillon, 2007)

$$R(t) = \int_0^t f(t) dt \quad (2.7)$$

Berikut adalah distribusi dugaan yang digunakan dalam penelitian ini.

#### a. Distribusi *Generalized Logistic*.

$$f(z) = \begin{cases} \frac{(1+kz)^{-1-1/k}}{\sigma(1+(1+kz)^{-1/k})^2}, & k \neq 0 \\ \frac{\exp(-z)}{\sigma(1+\exp(-z))^2}, & k = 0 \end{cases} \quad (2.8)$$

$$\text{dimana } z = \frac{t - \mu}{\sigma}$$

$$R(t) = \frac{1}{1 + (1 + kz)^{-1/k}} \quad (2.9)$$

Selanjutnya untuk *mean time to failure* (MTTF) merupakan nilai rata-rata waktu kegagalan yang akan datang dari sebuah sistem (komponen). Untuk sistem yang dapat direparasi atau diperbaiki, maka MTTF adalah masa kerja suatu komponen sejak per-

tama kali digunakan atau dihidupkan sampai unit tersebut akan rusak kembali atau perlu di periksa kembali. Persamaan 2.10 menunjukkan persamaan MTTF yang digunakan.

$$MTTF = \int_0^{\infty} 1 - \frac{1}{1 + (1 + kz)^{-1/k}} \quad (2.10)$$

$$\text{dimana } z = \frac{t - \mu}{\sigma}$$

#### b. Distribusi Weibull 3P

Distribusi Weibull dengan 3 (tiga) parameter merupakan salah satu distribusi yang digunakan untuk memodelkan dari bentuk perilaku kerusakan sistem mesin. Pada pemeliharaan mesin yang dimaksudkan untuk menggambarkan keadaan optimal (memprediksi kerusakan) dari suatu mesin atau peralatan baik secara keseluruhan ataupun komponennya. Persamaan 2.11 menunjukkan fungsi kepadatan peluang dari distribusi Weibull 3P.

$$f(t) = \frac{m}{\theta} \left( \frac{t - \gamma}{\theta} \right)^{m-1} \exp \left[ - \left( \frac{t - \gamma}{\theta} \right)^m \right] \quad (2.11)$$

Persamaan 2.12 merupakan persamaan untuk memperoleh fungsi reliabilitas dari distribusi Weibull 3P

$$R(t) = \exp \left[ - \left( \frac{t - \gamma}{\theta} \right)^m \right] \quad (2.12)$$

Selanjutnya, MTTF dari distribusi Weibull 3P ditunjukkan pada persamaan 2.13.

$$MTTF = \gamma + \theta \Gamma \left( 1 + \frac{1}{m} \right) \quad (2.13)$$

## 2. Laju Kerusakan

Laju kerusakan merupakan kecepatan suatu mesin atau komponen menjadi rusak atau tidak berfungsi baik persatuan waktu. Secara matematis laju kerusakan ( $h$ ) memiliki persamaan sebagai berikut :

$$h(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2.14)$$

$f(t)$  merupakan fungsi padat peluang dalam satuan waktu ( $t$ ) dari suatu data dan  $R(t)$  merupakan probabilitas dari fungsi reliabilitas. (Ebeling, 1997).

Apabila distribusi dugaan diketahui adalah Weibull 3P, maka untuk mendapatkan nilai laju kerusakan diperoleh dengan melakukan substitusi persamaan 2.11 dan persamaan 2.12 ke dalam persamaan 2.15 sebagai berikut.

$$h(t) = \frac{\frac{m}{\theta} \left( \frac{t-\gamma}{\theta} \right)^{m-1} \exp \left[ - \left( \frac{t-\gamma}{\theta} \right)^m \right]}{\exp \left[ - \left( \frac{t-\gamma}{\theta} \right)^m \right]} \quad (2.15)$$

Persamaan 2.15 apabila dilakukan substitusi akan menjadi persamaan 2.16

$$h(t) = \frac{m}{\theta} \left( \frac{t-\gamma}{\theta} \right)^{m-1} \quad (2.16)$$

## 2.4 Ekspektasi Biaya Dan Waktu *Preventive Maintenance*

Dalam strategi waktu penggantian terencana (*preventive maintenance*) suatu komponen yang optimal dimana laju kerusakan meningkat, maka penting untuk menentukan kapan suatu komponen harus diganti sehingga kerusakan yang terjadi dapat berkurang dan biaya pemeliharaan dalam jangka panjang dapat ditekan. Optimasi waktu dan biaya yang ditujukan untuk melakukan *preventive maintenance* berdasarkan usia pakai (*lifetime*) dapat diperoleh dengan menggunakan rumus sebagai berikut

$$C(t_p) = \frac{C_p \times R(t_p) + C_f \times M(t_p)}{t_p \times R(t_p) + \int_{-\infty}^{t_p} t f(t) dt} \quad (2.17)$$

dengan keterangan sebagai berikut,

$C(t_p)$  : Ekspektasi biaya minimum yang diperoleh dari waktu *preventive* yang optimum

$C_p$  : Biaya *preventive* yang didapat dari biaya perawatan terjadwal

$C_f$  : Biaya perbaikan dan/atau penggantian akibat kegagalan proses ketika mesin mengalami kerusakan

$R(t_p)$  : Fungsi reliabilitas mesin *finish mill*

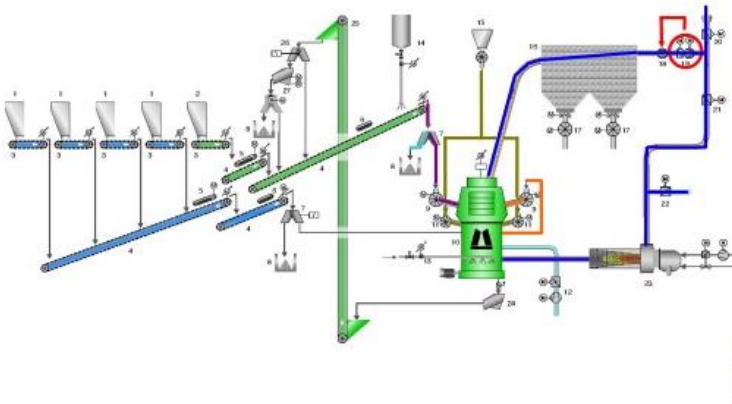
$t_p$  : Waktu *preventive maintenance*

$f(t)$  : Fungsi padat peluang dari distribusi data *lifetime*

$M(t_p)$  : Diperoleh dari  $1 - R(t_p)$

## 2.5 Sistem Produksi di PT. Semen Indonesia, Tbk Plant Tuban.

Produksi semen dilakukan di empat area utama yakni *Crusher*, *Rawmill*, *Kiln* dan *Finishmill*. *Crusher* merupakan area produksi awal (pencampuran). Tahap awal pembuatan semen dimulai dengan menambang batu kapur serta tanah liat, yang dilanjutkan dengan pencampuran kedua material utama. Penambahan bahan tambahan seperti pasir silika dan *copper slag* dilakukan sesuai spesifikasi produk. *Rawmill* merupakan area produksi tahap kedua. Campuran batu kapur serta tanah liat, pasir silika, dan *copper slag* digiling di mesin penggilingan bahan baku (*Raw-mill*) hingga mencapai kehalusan 90 mikron. *Kiln* merupakan area produksi ketiga yakni tahap pembakaran. Hasil pembakaran pada mesin *Kiln* berupa butiran-butiran yang dinamakan terak atau *clinker*. Wujud akhir terak adalah berupa butiran berwarna hitam. *Finish mill* merupakan area terakhir pada proses produksi semen. Hasil dari penggilingan akhir berupa semen disimpan di dalam silo penyimpanan semen (PT. Semen Indonesia (Persero), Tbk, 2014) Sistem mesin produksi di PT. Semen Indonesia, Tbk Plant Tuban dapat dijelaskan oleh Gambar 2.1 sebagai berikut.



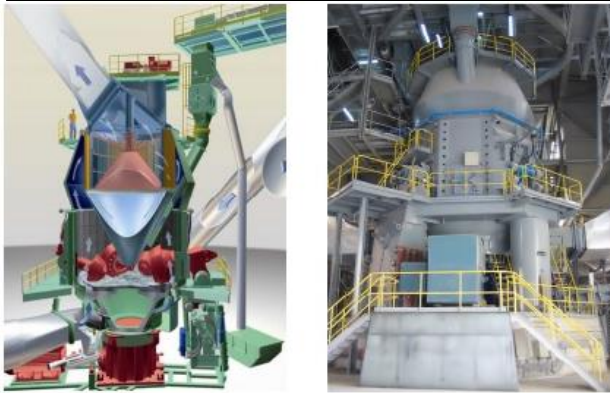
**Gambar 2.1** Sistem Produksi PT. Semen Indonesia, Tbk Plant Tuban

## 2.6 Mesin *Finish Mill*

*Finish Mill* atau penggilingan akhir adalah sebuah proses produksi menggiling bersama antara terak dengan 3% - 5% *gypsum natural* atau sintetis dan beberapa jenis aditif (*pozzolan*, *slag*, dan batu kapur) yang ditambahkan dalam jumlah tertentu, selama memenuhi kualitas dan spesifikasi semen yang dipersyaratkan. Proses penggilingan terak secara garis besar dibagi menjadi sistem penggilingan *open circuit* dan sistem penggilingan *closed circuit*. Dalam *open circuit* panjang *shell* sekitar 4–5 kali dari diameter untuk mendapatkan kehalusan yang diinginkan. Sedangkan dalam *closed circuit* panjang *shell* sekitar 3 kali diameter atau kurang untuk mempercepat produk yang lewat. Separator bekerja sebagai pemisah sekaligus pendingin produk semen. Seperti yang terlihat pada Gambar 2.2.

*Horizontal Tube Mill* atau *Ball Mill* adalah peralatan giling yang sering dijumpai di berbagai industri semen, meskipun sekarang sudah mulai digantikan oleh *vertical mill* untuk menggiling terak menjadi semen setengah jadi. Material yang telah mengalami penggilingan terak kemudian diangkut oleh *bucket elevator* menuju separator. Separator berfungsi untuk memisahkan semen

yang ukurannya telah cukup halus dengan ukuran yang kurang halus. Semen yang cukup halus akan dibawa udara melalui *cy-clone*, kemudian ditangkap oleh *bag filter* yang kemudian akan ditransfer ke dalam *cement silo*.



**Gambar 2.2** Mesin *Finish Mill*

Mesin *Finish Mill* yang terdapat di PT. Semen Indonesia, Tbk Plant Tuban berjumlah sembilan mesin dengan dua tipe mesin yaitu *cupe mill* dan *vertical mill*. Mesin *finish mill* yang berjumlah sembilan tersebut dibagi ke dalam empat unit produksi yaitu Plant Tuban 1, Plant Tuban 2, Plant Tuban 3 dan Plant Tuban 4. Masing-masing Plant memiliki 2 mesin yang bertipe sama. Berikut merupakan pembagian untuk masing-masing mesin *finish mill* sebagai berikut.

- Plant Tuban 1 memiliki mesin *finish mill* 1 dan 2 yang bertipe *cupe mill* dan mesin *finish mill* 9 yang bertipe *vertical mill*.
- Plant Tuban 2 adalah mesin *finish mill* 3 dan 4 yang bertipe *cupe mill*.
- Plant Tuban 3 adalah mesin *finish mill* 5 dan 6 yang bertipe *cupe mill*.
- Plant Tuban 4 adalah mesin *finish mill* 7 dan 8 yang bertipe *vertical mill*.

Sembilan mesin *finish mill* tersebut bekerja secara paralel yang berarti mesin satu dengan mesin yang lainnya tidak berkaitan sama sekali. Apabila salah satu mesin mengalami *downtime* atau kerusakan mesin sehingga mesin tersebut dimatikan maka mesin yang lain masih dapat bekerja secara optimal. Masing-masing mesin memiliki karakteristik yang sama sesuai dengan tipe mesin tersebut, namun memiliki target produksi yang berbeda satu dengan yang lainnya. Hal ini didasarkan pada kemampuan mesin *finish mill* untuk menghasilkan produk semen yang berkualitas. Salah satu yang menjadi faktor menentukan dalam penentuan kapasitas produksi adalah umur mesin bekerja atau *lifetime* mesin. Mesin *finish mill* 1 dan 2 beroperasi sejak tahun 1992, sedangkan mesin *finish mill* 3 dan 4 dioperasikan sejak tahun 1994. Mesin *finish mill* 7, 8 dan 9 adalah mesin *finish mill* terbaru yang mulai beroperasi sejak 2012 lalu. Sedangkan mesin *finish mill* 5 dan 6 yang menjadi variabel penelitian beroperasi sejak tahun 1997. Mesin *finish mill* bekerja dengan melakukan penggilingan terak atau bahan baku semen menjadi semen setengah jadi untuk selanjutnya dilakukan proses pemisahan ukuran semen berdasarkan tingkat kehalusannya.

*Halaman Sengaja Dikosongkan*



## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini akan dibahas mengenai sumber data, variabel pengamatan yang akan digunakan serta langkah analisis penelitian reliabilitas.

### 3.1 Sumber Data

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data sekunder dari data lama mesin bekerja dengan baik atau umur dari mesin *finish mill* 5 dan 6 yang diambil dari divisi *maintenance planning* PT. Semen Indonesia, Tbk Plant Tuban mulai bulan Januari tahun 2012 sampai bulan Desember tahun 2016.

### 3.2 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah lamanya mesin bekerja (*lifetime*) dan data lama waktu perbaikan kerusakan (*downtime*) mesin *finish mill* yang dijelaskan pada subbab 2.6. Lama mesin bekerja (*lifetime*) diperoleh dari waktu mesin tersebut beroperasi sampai mengalami suatu kerusakan dihitung berdasarkan jam beroperasi. Lama waktu perbaikan kerusakan (*downtime*) diperoleh dengan menghitung jam kerusakan dari mesin tersebut mengalami kerusakan sehingga dimatikan sampai mesin dapat beroperasi kembali.

**Tabel 3.1** Struktur Data Penelitian

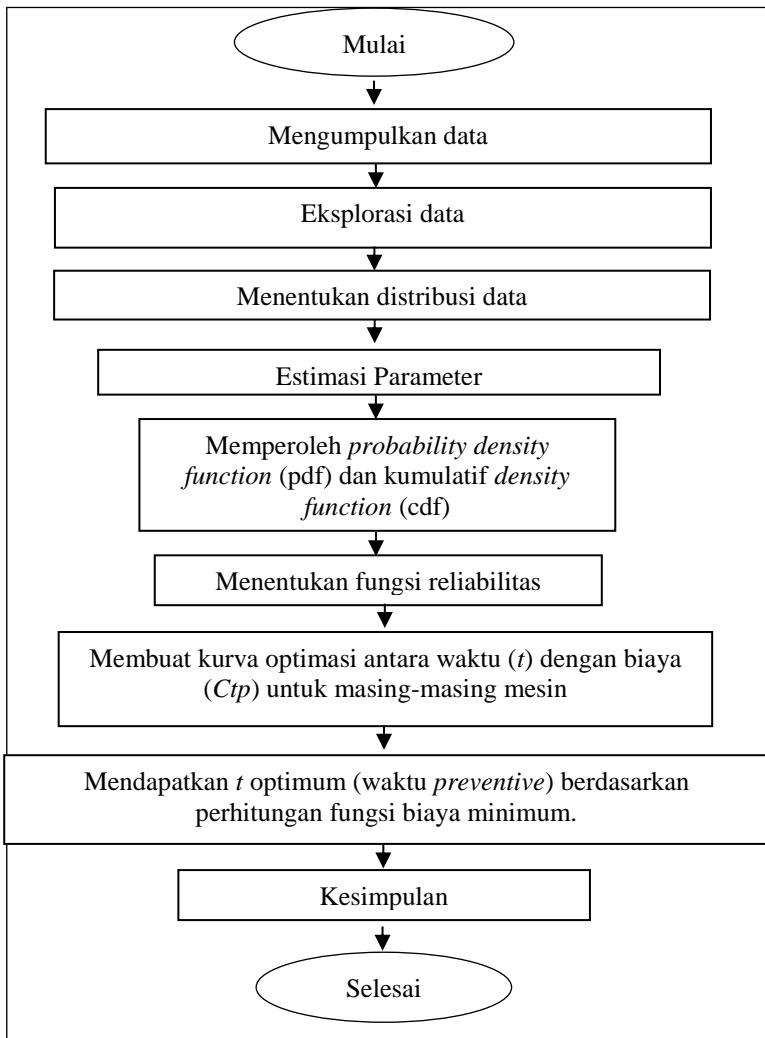
Data kerusakan ke-	Lama Mesin Bekerja (jam)		Lama Perbaikan Kerusakan (jam)	
	Mesin 5	Mesin 6	Mesin 5	Mesin 6
1	$t_{1,1}$	$t_{2,1}$	$y_{1,1}$	$y_{2,1}$
2	$t_{1,2}$	$t_{2,2}$	$y_{1,2}$	$y_{2,2}$
$\vdots$	...	...	....	...
n	$t_{1,n}$	$t_{2,n}$	$y_{1,n}$	$y_{2,n}$

### 3.3 Langkah Analisis

Langkah-langkah analisis yang dilakukan untuk mencapai tujuan dari penelitian adalah sebagai berikut.

1. Mengumpulkan data performa mesin *finish mill* (*Downtime* dan *Lifetime*) pada kurun waktu Januari 2012 sampai Desember 2016.
2. Melakukan eksplorasi terhadap data performa mesin *finish mill* di PT. Semen Indonesia, Tbk Plant Tuban.
3. Menguji distribusi yang sesuai dengan data dari masing-masing mesin *finish mill* di PT. Semen Indonesia, Tbk Plant Tuban sesuai persamaan 2.1.
4. Menguji parameter distribusi dari masing-masing mesin *finish mill* yang telah sesuai dengan hasil pengujian distribusi sesuai persamaan 2.11.
5. Mendapatkan fungsi reliabilitas untuk masing-masing mesin *finish mill* di PT. Semen Indonesia, Tbk Plant Tuban sesuai persamaan 2.12.
6. Membuat kurva optimasi untuk menentukan waktu pemeliharaan yang meminimumkan biaya kerusakan mesin *finish mill* di PT. Semen Indonesia, Tbk Plant Tuban sesuai persamaan 2.17
7. Mendapatkan waktu optimum untuk *preventive maintenance* minimum dan biaya minimum dengan menggunakan kurva optimum berdasarkan persamaan 2.17

Gambar 3.1 menunjukkan diagram alir dari langkah analisis yang akan dilakukan.



**Gambar 3.1** Diagram Alir

*Halaman Sengaja Dikosongkan*

## BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan latar belakang dan metode penelitian yang digunakan, Pada bab Analisis dan Pembahasan akan dibahas mengenai eksplorasi data, pengujian distribusi, penentuan estimasi parameter, fungsi reliabilitas dan kurva optimasi terkait waktu dan biaya yang minimum.

### 4.1 Karakteristik *Lifetime* dan *Downtime* Mesin *Finish Mill*

Di PT. Semen Indonesia, Tbk Plant Tuban memiliki sembilan mesin *finish mill* yang semuanya digunakan secara paralel. Namun dalam penelitian ini hanya digunakan dua mesin *finish mill* saja yang terdapat pada Tuban 3. Mesin tersebut dibuat pada tahun 1996 dan mulai dioperasikan pada tahun 1997 dengan tipe mesin berbentuk *cupe mill*. Berikut ini adalah statistika deskriptif dari data *lifetime* (jam) dan *downtime* (jam) untuk kedua mesin.

**Tabel 4.1** Statistika Deskriptif Mesin *Finish Mill*

Variabel	Mesin	Jumlah Data	Rata-rata	Varians	Min.	Maks.
<i>Lifetime</i>	5	20	1815	5635514	8	8082
	6	12	3363	17028504	16	13136
<i>Downtime</i>	5	20	2,574	9,339	0,833	14,783
	6	12	2,643	3,993	0,58	7,4

Pada Tabel 4.1 dapat diketahui bahwa dari kedua mesin *finish mill*, mesin 6 memiliki rata-rata *lifetime* paling lama dibandingkan dengan mesin 5 dikarenakan mesin 6 jarang mengalami kerusakan yang terjadi antara periode tahun 2012 sampai 2016 pada komponen BE3 Timba pada mesin *finish mill* bertipe *cupe mill*. Rata-rata *lifetime* mesin 6 sebesar 3363 jam pada satu kerusakan, sebaliknya mesin 5 memiliki rata-rata *lifetime* sebesar 1815 jam pada satu kerusakan. Mesin 5 mengalami kerusakan sebanyak 20 kali dalam periode 2012-2016 yang lebih banyak terjadi dibandingkan mesin 6 yaitu 12 kerusakan pada periode yang sama. Namun mesin 6 memiliki rata-rata *downtime* yang lebih tinggi dari mesin 5 yaitu 2,643 jam per ke-

rusakan. Sedangkan mesin *finish mill* 5 memiliki rata-rata *downtime* sebesar 2,574 jam per kerusakan.

Jika dikaitkan hubungan antara variabel *lifetime* dan *downtime*, maka perlu diperhatikan adalah mesin 6 dikarenakan mesin *finish mill* 6 memiliki rata-rata *lifetime* lebih lama tetapi memiliki rata-rata *downtime* yang lebih lama pula. Hal ini perlu dijadikan pertimbangan bagi perusahaan untuk memberi perhatian khusus terhadap mesin *finish mill* 6 dan mendapatkan penyebab permasalahan tersebut untuk kemudian dilakukan pencegahan.

## 4.2 Penentuan Distribusi *Lifetime* Mesin *Finish Mill*

Dikarenakan kedua mesin bekerja secara paralel dan saling terpisah, maka dalam penelitian ini peneliti langsung menentukan distribusi masing-masing mesin *finish mill* untuk mendapatkan informasi yang akurat mengenai masing-masing mesin.

Penentuan distribusi data merupakan langkah awal untuk menentukan elemen reliabilitas pada suatu mesin. Dalam penelitian ini menggunakan metode *kolmogorov-smirnov* untuk menduga distribusi dari suatu data.

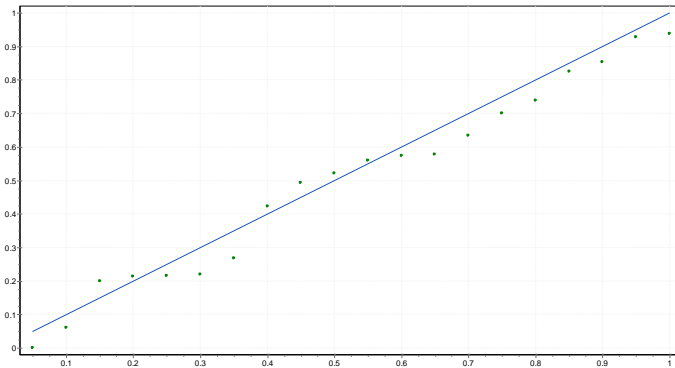
### 4.2.1 Distribusi *Lifetime* Mesin *Finish Mill* 5

Dari data yang telah diperoleh dari perusahaan mengenai *lifetime* mesin *finish mill* 5. Didapatkan bahwa distribusi yang sesuai dengan data *lifetime* mesin *finish mill* 5 adalah distribusi Weibull 3P. Dengan menggunakan hipotesis sebagai berikut.

$H_0 : F(x) = F_n(x)$  (Distribusi data sesuai dengan distribusi dugaan)

$H_1 : F(x) \neq F_n(x)$  (Distribusi data tidak sesuai dengan distribusi dugaan)

dimana  $F_n(x)$  merupakan fungsi distribusi empiris dan  $F(x)$  merupakan fungsi distribusi Weibull 3P dengan taraf signifikansi sebesar 5%, maka didapatkan nilai  $D_{n,\alpha}$  yaitu 0,294 lebih besar daripada Dhitung yaitu 0,09898 pada uji *Kolmogorov-smirnov* yang diperoleh dari persamaan 2.1. Maka kesimpulannya adalah gagal menolak  $H_0$  yang berarti distribusi data sesuai dengan distribusi dugaan (Weibull 3P). Berikut adalah visualisasi data *lifetime* mesin *finish mill* 5 sesuai dengan distribusi Weibull 3P.



**Gambar 4.1** Plot Probabilitas mesin *finish mill* 5

Pada Gambar 4.1 dapat dilihat bahwa data *lifetime* mesin *finish mill* 5 membentuk pola data mendekati garis probabilitas dari distribusi Weibull 3P sehingga dapat disimpulkan bahwa data *lifetime* mesin *finish mill* sesuai dengan distribusi dugaan Weibull 3P.

#### 4.2.2 Distribusi *Lifetime* Mesin *Finish Mill* 6

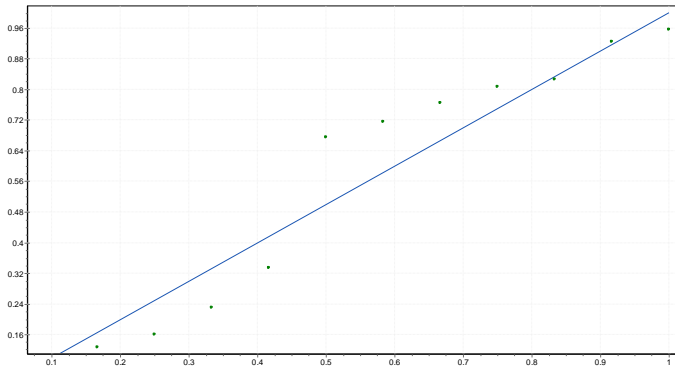
Berdasarkan data yang telah diperoleh dari perusahaan mengenai *lifetime* mesin *finish mill* 6. Didapatkan bahwa distribusi yang sesuai dengan data *lifetime* mesin *finish mill* 6 adalah distribusi Weibull 3P.

Dengan menggunakan hipotesis sebagai berikut.

$$H_0 : F(x) = F_n(x)$$

$$H_1 : F(x) \neq F_n(x)$$

dimana  $F_n(x)$  merupakan fungsi distribusi empiris dan  $F(x)$  merupakan fungsi distribusi Weibull 3P. Taraf signifikan sebesar 5%, maka didapatkan nilai  $D_{n,\alpha}$  yaitu 0,375 lebih besar daripada nilai Dhitung yaitu 0,25821 pada uji *Kolmogorov-smirnov* yang diperoleh dari persamaan 2.1. Maka kesimpulannya adalah gagal menolak  $H_0$  yang berarti distribusi data sesuai dengan distribusi dugaan Weibull 3P. Berikut adalah visualisasi data *lifetime* mesin *finish mill* 6 sesuai dengan distribusi Weibull 3P.



**Gambar 4.2** Plot Probabilitas mesin *finish mill* 6

Gambar 4.2 dapat dilihat bahwa data *lifetime* mesin *finish mill* 6 membentuk pola data tidak mendekati garis probabilitas dari distribusi Weibull 3P sehingga dapat disimpulkan bahwa data *lifetime* mesin *finish mill* tidak sesuai dengan distribusi dugaan Weibull 3P secara visualisasi namun masih memenuhi asumsi sesuai dengan distribusi dugaan Weibull 3P.

### 4.3 Analisis Reliabilitas

Setelah mendapatkan distribusi dugaan yang sesuai dengan data *lifetime* mesin *finish mill* 5 dan mesin *finish mill* 6, selanjutnya akan dilakukan analisis reliabilitas dengan membentuk fungsi reliabilitas berdasarkan estimasi parameter dan fungsi kepadatan peluang dari distribusi Weibull 3P.

#### 4.3.1 Estimasi Parameter Distribusi Weibull 3P

Dalam menduga parameter ada beberapa metode yang bisa digunakan dari suatu distribusi, salah satunya adalah menggunakan *Maximum Likelihood Estimator* (MLE). Sesuai dengan distribusi dugaan yaitu Weibull 3P, maka didapatkan estimasi ketiga parameter  $m$  (*shape*),  $\theta$  (*scale*),  $\gamma$  (*location*) sesuai dengan persamaan 2.6. Dengan melakukan perhitungan, maka didapatkan parameter dari distribusi untuk kedua mesin *finish mill* sebagai berikut.

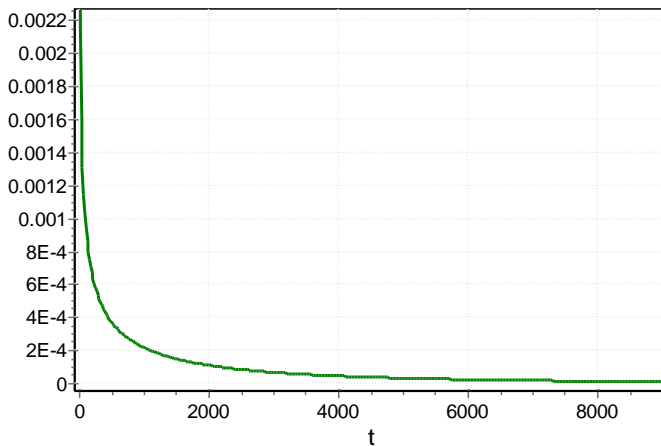


**Tabel 4.2** Parameter Distribusi Mesin *Finish Mill*

Distribusi	Parameter	Mesin 5	Mesin 6
Weibull 3P	$m$ ( <i>shape</i> )	0,60489	0,56824
	$\theta$ ( <i>scale</i> )	1502,1	1756,5
	$\gamma$ ( <i>location</i> )	7,6833	15,583

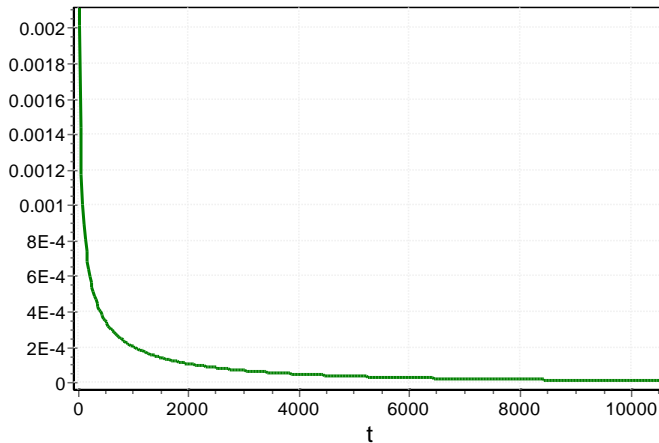
Hasil parameter distribusi yang telah didapatkan kemudian di-visualisasikan agar lebih mudah dalam penjelasan distribusi data yang telah terbentuk.

Dari Gambar 4.5 dan Gambar 4.6 antara mesin 5 dan mesin 6 sekilas memiliki kesamaan grafis dikarenakan merupakan distribusi yang sama yaitu distribusi Weibull 3P, namun ketika dibandingkan dari sumbu y atau  $f(x)$  perbedaannya terlihat jelas karena skala mesin 5 maksimal 0,0022 sedangkan skala mesin 6 maksimal 0,002. Kedua grafik *probability density function* memiliki *lifetime* yang berbeda. Berikut ini adalah visualisasikan distribusi data dari masing-masing.

**Gambar 4.3** Bentuk Distribusi *Lifetime* Mesin *Finish Mill* 5

Pada Gambar 4.3 dapat dilihat hasil probabilitas dari fungsi kepadatan peluang yang dihasilkan berdasarkan estimasi parameter yang didapatkan melalui substitusi parameter sesuai dengan Tabel 4.4. Grafik Weibull 3P menunjukkan sumbu  $x$  sebagai waktu kerja mesin *finish mill* dalam satuan jam sedangkan sumbu  $y$  sebagai probabilitas hasil fungsi kepadatan peluang mesin *finish mill* bekerja yang diper-

oleh dari persamaan 2.11. Fungsi kepadatan peluang saat mesin *finish mill* bekerja mengalami penurunan yang secara perlahan pada saat jam pertama mesin bekerja hingga 8.000 jam mesin bekerja. Plot distribusi *lifetime* menunjukkan bahwa mesin *finish mill* 5 memiliki probabilitas mesin bekerja dengan baik yang menurun secara terus-menerus karena mengalami kerusakan pada saat ke- $t$  mesin berjalan hingga penurunan tersebut mendekati peluang sama dengan nol.



**Gambar 4.4** Bentuk Distribusi *Lifetime* Mesin *Finish Mill* 6

Sedangkan Gambar 4.4 dapat dilihat hasil probabilitas dari fungsi kepadatan peluang yang dihasilkan berdasarkan estimasi parameter yang didapatkan dengan substitusi pada Tabel 4.4. Grafik Weibull 3P dapat dilihat bahwa sumbu  $x$  menjelaskan sebagai waktu kerja mesin *finish mill* dalam satuan jam sedangkan sumbu  $y$  menjelaskan sebagai probabilitas hasil fungsi kepadatan peluang mesin *finish mill* bekerja yang diperoleh dari persamaan 2.11. Hasil fungsi kepadatan peluang mesin *finish mill* 6 saat mesin bekerja mengalami penurunan yang secara perlahan pada saat jam pertama mesin bekerja hingga 10.000 jam mesin bekerja. Plot distribusi *lifetime* menunjukkan bahwa mesin *finish mill* 6 memiliki probabilitas mesin bekerja dengan baik yang yang terus turun karena pada kerusakan pada saat ke- $t$  mesin mulai mengalami penurunan mendekati probabilitas sama dengan nol.

#### 4.3.2 Fungsi Kepadatan Peluang dan Reliabilitas *Lifetime* Mesin *Finish Mill*

Setelah didapatkan distribusi yang sesuai dengan masing-masing mesin *finish mill* beserta parameter distribusinya, selanjutnya adalah mensubstitusikannya ke dalam fungsi kepadatan peluang (pdf) dari distribusi yang sudah diketahui.

##### 4.3.2.1 Mesin *Finish Mill* 5

Data *lifetime* dari mesin *finish mill* 5 berdistribusi Weibull 3P dengan parameter  $m$  (*shape*),  $\theta$  (*scale*),  $\gamma$  (*location*). Berikut ini fungsi kepadatan peluang dari distribusi Weibull 3P.

$$f(t) = \frac{m}{\theta} \left( \frac{t - \gamma}{\theta} \right)^{m-1} \exp \left[ - \left( \frac{t - \gamma}{\theta} \right)^m \right]$$

dengan mensubstitusikan nilai parameter yang didapat pada Tabel 4.2, maka fungsi kepadatan peluang menjadi sebagai berikut

$$f(t) = \frac{0,60489}{1502,1} \left( \frac{t - 7,6833}{1502,1} \right)^{0,60489-1} \exp \left[ - \left( \frac{t - 7,6833}{1502,1} \right)^{0,60489} \right]$$

$$f(t) = \frac{0,60489}{1502,1} \left( \frac{t - 7,6833}{1502,1} \right)^{-0,39511} \exp \left[ - \left( \frac{t - 7,6833}{1502,1} \right)^{0,60489} \right]$$

Diketahui pula nilai *Mean Time to Failure* atau MTTF untuk distribusi Weibull 3P adalah sebagai berikut.

$$MTTF = \gamma + \theta \Gamma \left( 1 + \frac{1}{m} \right)$$

dengan melakukan substitusi estimasi parameter yang diperoleh dari Tabel 4.2, maka nilai MTTF dapat dihitung sebagai berikut.

$$MTTF = 7,6833 + 1502,1 \Gamma \left( 1 + \frac{1}{0,60489} \right)$$

Maka dengan dilakukan perhitungan manual sesuai persamaan diatas, didapatkan hasil MTTF sama dengan 2242,767 jam. MTTF tersebut memiliki arti bahwa rata-rata waktu mesin *finish mill* akan rusak atau gagal berfungsi dengan baik jika telah beroperasi selama 2242,767 jam. Setelah diketahui nilai MTTF, maka selanjutnya akan diperoleh nilai fungsi realibilitas sebagai berikut.

$$R(t) = \exp \left[ - \left( \frac{t - \gamma}{\theta} \right)^m \right]$$

setelah mensubstitusikan nilai parameter yang diperoleh pada Tabel 4.4, didapatkan fungsi reliabilitas sebagai berikut.

$$R(t) = \exp \left[ - \left( \frac{t - 7,6833}{1502,1} \right)^{0,60489} \right]$$

dengan mengetahui fungsi kepadatan peluang dan fungsi reliabilitasnya, maka selanjutnya dapat diketahui nilai reliabilitas dengan melakukan perhitungan menggunakan persamaan  $R(t)$  diatas. Dengan substitusi ke dalam persamaan diatas dengan nilai  $t$  sebagai waktu mesin beroperasi.

Selanjutnya dilakukan perhitungan persamaan diatas dengan nilai  $t$  selama 100 jam didapatkan perhitungan sebagai berikut.

$$R(100) = \exp \left[ - \left( \frac{100 - 7,6833}{1502,1} \right)^{0,60489} \right]$$

maka didapatkan nilai reliabilitas selama 100 jam mesin beroperasi sebagai berikut.

$$R(100) = 0,831$$

Nilai reliabilitas 0,831 tersebut memiliki arti bahwa probabilitas mesin *finish mill* beroperasi dengan baik saat 100 jam mesin beroperasi sebesar 0,831 atau kehandalan mesin *finish mill* 5 saat 100 jam beroperasi sebesar 83,1%.

Selanjutnya dilakukan perhitungan yang sama untuk mendapatkan nilai reliabilitas saat  $t$  mesin beroperasi. Dengan mensubstitusikan parameter yang diperoleh pada Tabel 4.2 ke dalam persamaan 2.12, maka diperoleh nilai reliabilitas sebagai berikut untuk 2500 jam mesin beroperasi.

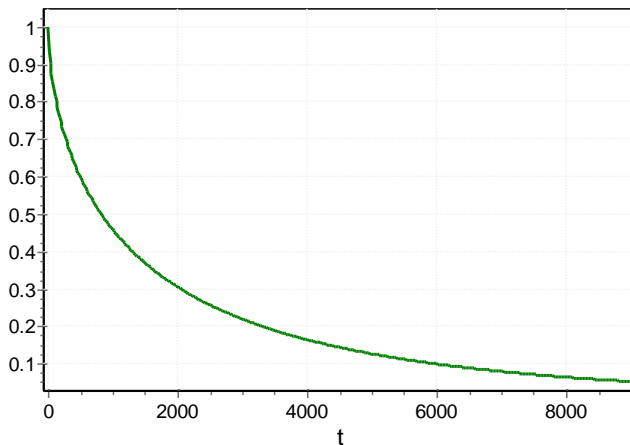
Dari Tabel 4.3 dapat dilihat bahwa nilai reliabilitas dari jam ke jam mengalami turun secara perlahan. Pada 100 jam pertama nilai reliabilitasnya masih sekitar 83,11%, kemudian pada 500 jam selanjutnya nilai reliabilitas berkisar pada 60,09% dan terakhir pada 2500 jam lebih mesin *finish mill* bekerja nilai reliabilitas semakin menurun pada tingkat 25,71%. Nilai reliabilitas justru mengalami penurunan

signifikan saat mesin *finish mill* bekerja pada lebih dari 100 jam pertama.

**Tabel 4.3** Reliabilitas Mesin *Finish Mill* 5

Waktu (jam)	100	500	1000	1500	2000	2500
Reliabilitas	0.8311	0.6009	0.4592	0.3693	0.3053	0.2571
%						
Reliabilitas	83.11%	60.09%	45.92%	36.93%	30.53%	25.71%

Dari Gambar 4.5 sebagai bentuk visualisasi nilai reliabilitas pada Tabel 4.4 menunjukkan bahwa penurunan nilai reliabilitas dari 100 jam sampai ke 500 jam semakin signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi sesuatu pada kisaran 100-500 jam mesin *finish mill* bekerja, dimana reliabilitas mesin *finish mill* 5 menurun drastis maka perlu dilakukan pengawasan ekstra/lebih pada kisaran 100-500 jam pertama mesin *finish mill* bekerja sebelum terjadi kerusakan yang tidak diinginkan oleh perusahaan. Untuk lebih jelas penurunannya, berikut disajikan plot reliabilitas mesin *finish mill* 5.



**Gambar 4.5** Plot Reliabilitas Mesin *Finish Mill* 5

Selain nilai reliabilitas mesin *finish mill* 5, elemen lain yang digunakan untuk mengetahui kehandalan mesin *finish mill* adalah laju kerusakan mesin *finish mill* 5. Dengan mensubstitusikan fungsi ke-

padatan peluang dan fungsi reliabilitas seperti pada persamaan 2.15, maka didapatkan laju kerusakan mesin pada saat ke- $t$ .

Selanjutnya dilakukan perhitungan untuk laju kerusakan pada saat mesin beroperasi selama 100 jam sesuai dengan persamaan 2.16 sebagai berikut.

$$h(100) = \frac{m}{\theta} \left( \frac{100 - \gamma}{\theta} \right)^{m-1}$$

dengan mensubstitusikan parameter yang diperoleh pada Tabel 4.2 didapatkan hasil sebagai berikut.

$$h(100) = \frac{0,60489}{1502,1} \left( \frac{100 - 7,6833}{1502,1} \right)^{0,60489-1}$$

maka diperoleh hasil sebagai berikut

$$h(100) = \frac{0,60489}{1502,1} \left( \frac{100 - 7,6833}{1502,1} \right)^{-0,39517}$$

dengan melakukan perhitungan sesuai persamaan diatas, diperoleh nilai laju kerusakan saat mesin beroperasi selama 100 jam sebesar 0,00121. Nilai laju kerusakan sebesar 0,00121 memiliki arti bahwa probabilitas mesin *finish mill* rusak saat mesin bekerja saat 100 jam adalah 0,00121 atau mesin *finish mill* akan rusak saat mesin beroperasi selama 100 jam sebesar 0,121%.

Selanjutnya dilakukan perhitungan yang sama untuk mendapatkan nilai laju kerusakan saat  $t$  mesin beroperasi. Dengan mensubstitusikan parameter yang diperoleh pada Tabel 4.2 ke dalam persamaan 2.16, maka diperoleh nilai laju kerusakan sebagai berikut untuk 2500 jam mesin beroperasi.

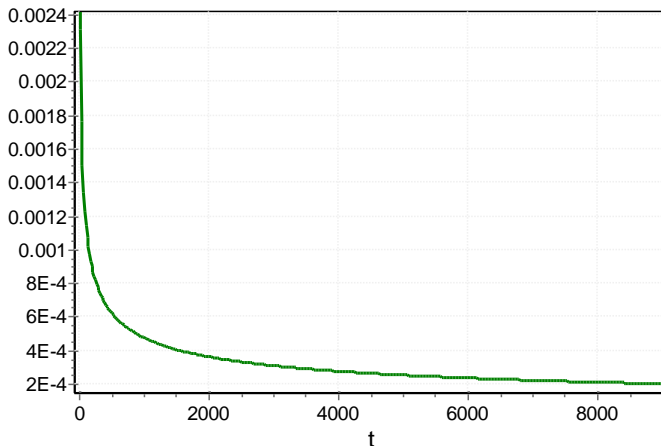
**Tabel 4.4** Laju Kerusakan Mesin *Finish Mil 5*

Waktu (jam)	100	500	1000	1500	2000	2500
Laju Kerusakan	0,00121	0,00062	0,00047	0,00040	0,0003	0,0003
% Laju Kerusakan	0,121%	0,062%	0,047%	0,040%	0,036%	0,033%

Dari Tabel 4.4 dapat dilihat bahwa nilai laju kerusakan dari jam ke jam terus menurun. Pada 100 jam pertama laju kerusakan masih berada pada 0,121% namun antara 100 jam sampai 500 jam, laju

kerusakan justru mengalami penurunan drastis menuju angka 0,062% dan terus menurun hingga pada 2500 jam pemakaian mesin *finish mill* 5 menjadi 0,033%. Hal ini menunjukkan bahwa permasalahan mesin justru terjadi pada awal-awal jam pemakaian mesin *finish mill* bekerja dimana pada 100 jam pertama laju kerusakan sangat tinggi namun setelah 500 jam pemakaian mesin *finish mill* justru laju kerusakan mengalami penurunan secara perlahan. Oleh sebab itu perlu dilakukan pengawasan ekstra/lebih pada awal-awal jam pemakaian mesin *finish mill* bekerja.

Dari Gambar 4.6 yang merupakan visualisasi dari Tabel 4.5 menunjukkan bahwa laju kerusakan dari mesin *finish mill* 5 dari jam ke-1 sampai 100 jam terjadi resiko kerusakan yang sangat tinggi. Namun pada jam-jam berikutnya mesin *finish mill* mengalami laju kerusakan yang menurun. Pada 500 jam setelah mesin bekerja justru mesin *finish mill* bekerja secara normal dikarenakan komponen memiliki laju kerusakan yang tidak terlalu berbeda. Berikut adalah grafik laju kerusakannya.



**Gambar 4.6** Plot Laju Kerusakan Mesin *Finsih Mill* 5

Selain dari laju kerusakan mesin *finish mill*, elemen lain yang digunakan untuk mengetahui kehandalan mesin *finish mill* adalah dengan melihat nilai reliabilitas dari mesin *finish mill* tersebut. Dengan mensubstitusikan parameter yang didapat dari Tabel 4.4 ke dalam per-

samaan 2.11, didapatkan nilai reliabilitas mesin saat ke- $t$  sebagai berikut dalam 2500 jam mesin bekerja.

#### 4.3.2.2 Mesin *Finish Mill* 6

Data *lifetime* dari mesin *finish mill* 6 berdistribusi Weibull 3P dengan parameter  $m$  (*shape*),  $\theta$  (*scale*),  $\gamma$  (*location*). Berikut ini fungsi kepadatan peluang dari distribusi Weibull 3P.

$$f(t) = \frac{m}{\theta} \left( \frac{t - \gamma}{\theta} \right)^{m-1} \exp \left[ - \left( \frac{t - \gamma}{\theta} \right)^m \right]$$

dengan mensubstitusikan nilai parameter yang didapat pada Tabel 4.4, maka fungsi kepadatan peluang menjadi sebagai berikut

$$f(t) = \frac{0,56824}{1756,5} \left( \frac{t - 15,583}{1756,5} \right)^{0,56824-1} \exp \left[ - \left( \frac{t - 15,583}{1756,5} \right)^{0,56824} \right]$$

$$f(t) = \frac{0,56824}{1756,5} \left( \frac{t - 15,583}{1756,5} \right)^{-0,43176} \exp \left[ - \left( \frac{t - 15,583}{1756,5} \right)^{0,56824} \right]$$

Diketahui sebelumnya bahwa *Mean Time to Failure* atau MTTF untuk distribusi Weibull 3P adalah sebagai berikut.

$$MTTF = \gamma + \theta \Gamma \left( 1 + \frac{1}{m} \right)$$

dengan melakukan substitusi estimasi parameter yang diperoleh dari Tabel 4.2, maka nilai MTTF dapat dihitung sebagai berikut.

$$MTTF = 15,583 + 1756,5 \Gamma \left( 1 + \frac{1}{0,56824} \right)$$

Maka dengan dilakukan perhitungan secara manual ke dalam persamaan diatas, didapatkan hasil MTTF sama dengan 2856,51 jam. MTTF tersebut menunjukkan bahwa rata-rata waktu mesin *finish mill* akan rusak atau gagal berfungsi dengan baik jika telah beroperasi selama 2856,51 jam. Setelah diketahui nilai MTTF, maka selanjutnya akan diperoleh nilai fungsi realibilitas sebagai berikut.

$$R(t) = \exp \left[ - \left( \frac{t - \gamma}{\theta} \right)^m \right]$$



setelah mensubstitusikan nilai parameter yang diperoleh dari Tabel 4.4, didapatkan fungsi reliabilitas sebagai berikut.

$$R(t) = \exp \left[ - \left( \frac{t - 15,583}{1756,5} \right)^{0,56824} \right]$$

dengan mengetahui fungsi kepadatan peluang dan fungsi reliabilitasnya, maka selanjutnya dapat diketahui nilai reliabilitas dengan melakukan perhitungan menggunakan persamaan diatas. Dengan substitusi ke dalam persamaan diatas dengan nilai  $t$  sebagai waktu mesin beroperasi.

Selanjutnya dilakukan perhitungan persamaan diatas dengan nilai  $t$  selama 100 jam didapatkan perhitungan sebagai berikut.

$$R(100) = \exp \left[ - \left( \frac{100 - 15,583}{1756,5} \right)^{0,56824} \right]$$

maka didapatkan nilai reliabilitas selama 100 jam mesin beroperasi sebagai berikut.

$$R(100) = 0,8376$$

Nilai reliabilitas 0,8376 tersebut memiliki arti bahwa probabilitas mesin *finish mill* beroperasi dengan baik saat 100 jam mesin beroperasi sebesar 0,8376 atau kehandalan mesin *finish mill* 5 saat 100 jam beroperasi sebesar 83,76%.

Selanjutnya dilakukan perhitungan yang sama untuk mendapatkan nilai reliabilitas saat  $t$  mesin beroperasi. Dengan mensubstitusikan parameter yang diperoleh pada Tabel 4.2 ke dalam persamaan 2.12, maka diperoleh nilai reliabilitas sebagai berikut untuk 2500 jam mesin beroperasi.

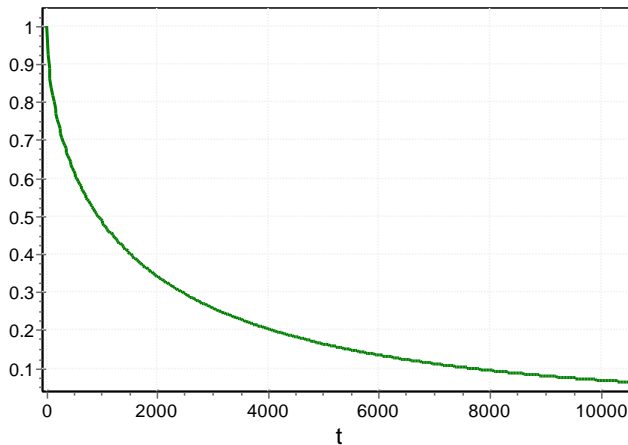
**Tabel 4.5** Reliabilitas Mesin *Finish Mill* 6

Waktu (jam)	100	500	1000	1500	2000	2500
Reliabilitas	0.83676	0.61818	0.48693	0.40300	0.34239	0.29589
%						
Reliabilitas	83.68%	61.82%	48.69%	40.30%	34.24%	29.59%

Tabel 4.5 dapat dilihat bahwa nilai reliabilitas dari jam ke jam mengalami turun secara perlahan. Saat 100 jam pertama nilai reliabilitasnya masih sekitar 83,68%, kemudian pada 500 jam selanjutnya

nilai reliabilitas berkisar pada 61,82% dan terakhir pada 2500 jam lebih mesin *finish mill* bekerja nilai reliabilitas semakin menurun pada tingkat 29,59%. Nilai reliabilitas justru mengalami penurunan signifikan saat mesin *finish mill* bekerja pada lebih dari 100 jam pertama. Berikut disajikan plot reliabilitas mesin *finish mill* 6 sebagai bentuk visualisasi dari Tabel 4.8.

Berdasarkan Gambar 4.7 menunjukkan bahwa penurunan nilai reliabilitas dari 100 jam sampai ke 500 jam semakin signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi sesuatu pada kisaran 100-500 jam mesin *finish mill* bekerja, dimana reliabilitas mesin *finish mill* 6 menurun drastis maka perlu dilakukan pengawasan ekstra/lebih pada kisaran 100-500 jam pertama mesin *finish mill* bekerja sebelum terjadi kerusakan yang tidak diinginkan oleh perusahaan.



**Gambar 4.7** Plot Reliabilitas Mesin *Finish Mill* 6

Selain menghitung nilai reliabilitas mesin *finish mill* 6, elemen lain yang digunakan untuk mengetahui kehandalan mesin *finish mill* adalah dengan mengetahui nilai laju kerusakan dari mesin *finish mill* 6 tersebut. Dengan mensubstitusikan fungsi kepadatan peluang dan fungsi reliabilitas seperti pada persamaan 2.15, maka didapatkan laju kerusakan mesin pada saat ke- $t$ .

Selanjutnya dilakukan perhitungan untuk laju kerusakan pada saat mesin beroperasi selama 100 jam sesuai dengan persamaan 2.16 sebagai berikut.

$$h(100) = \frac{m}{\theta} \left( \frac{100 - \gamma}{\theta} \right)^{m-1}$$

dengan mensubstitusikan parameter yang diperoleh pada Tabel 4.2 didapatkan hasil sebagai berikut.

$$h(100) = \frac{0,56824}{1756,5} \left( \frac{100 - 25,583}{1756,5} \right)^{0,56824-1}$$

maka diperoleh hasil sebagai berikut

$$h(100) = \frac{0,56824}{1756,5} \left( \frac{100 - 25,583}{1756,5} \right)^{-0,43176}$$

dengan melakukan perhitungan sesuai persamaan diatas, diperoleh nilai laju kerusakan saat mesin beroperasi selama 100 jam sebesar 0,00121. Nilai laju kerusakan sebesar 0,0012 memiliki arti bahwa probabilitas mesin *finish mill* rusak saat mesin bekerja saat 100 jam adalah 0,00121 atau mesin *finish mill* akan rusak saat mesin beroperasi selama 100 jam sebesar 0,12%.

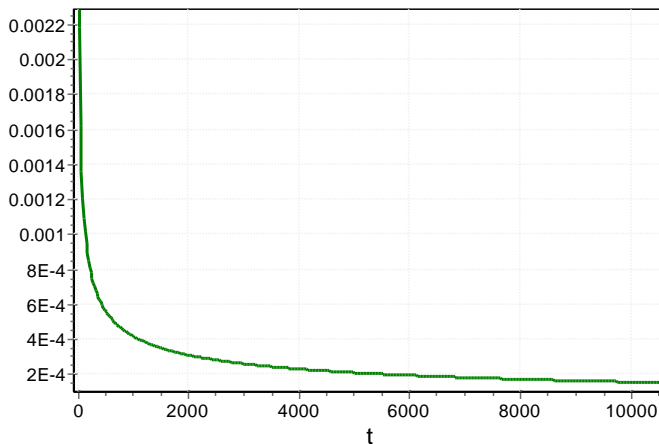
Selanjutnya dilakukan perhitungan yang sama untuk mendapatkan nilai laju kerusakan saat  $t$  mesin beroperasi. Dengan mensubstitusikan parameter yang diperoleh pada Tabel 4.2 ke dalam persamaan 2.16, maka diperoleh nilai laju kerusakan sebagai berikut untuk 2500 jam mesin beroperasi.

**Tabel 4.6** Laju Kerusakan Mesin *Finish Mil 6*

Waktu (jam)	100	500	1000	1500	2000	2500
Laju Kerusakan	0,0012	0,00058	0,00044	0,00038	0,00034	0,00032
% Laju Kerusakan	0,1208%	0,058%	0,044%	0,038%	0,0344%	0,0321%

Berdasarkan Tabel 4.6 menunjukkan bahwa nilai laju kerusakan dari jam ke jam terus menurun. Pada 100 jam pertama laju kerusakan masih berada pada 0,1208% namun antara 100 jam sampai 500 jam, laju kerusakan justru mengalami penurunan drastis menuju angka 0,058% dan terus menurun hingga pada 2500 jam pemakaian

mesin *finish mill* 5 menjadi 0,0321%. Hal ini menunjukkan bahwa permasalahan mesin justru terjadi pada awal-awal jam pemakaian mesin *finish mill* bekerja dimana pada 100 jam pertama laju kerusakan sangat tinggi namun setelah 500 jam pemakaian mesin *finish mill* justru mengalami penurunan. Oleh sebab itu perlu dilakukan pengawasan ekstra/lebih pada awal-awal jam pemakaian mesin *finish mill* bekerja. Berikut adalah grafik laju kerusakan dari mesin *finish mill* 6 yang tergambarkan pada Gambar 4.7. Gambar 4.7 merupakan visualisasi dari Tabel 4.7 dengan nilai laju kerusakan yang terus menurun pada setiap jam pemakaian mesin *finish mill* 6 beroperasi.



**Gambar 4.8** Plot Laju Kerusakan Mesin *Finsih Mill* 6

Dari Gambar 4.8 yang merupakan bentuk visualisasi dari Tabel 4.7 terlihat bahwa laju kerusakan dari mesin *finish mill* 6 dari jam pertama sampai 100 jam pertama terjadi resiko kerusakan yang sangat tinggi namun pada jam-jam berikutnya mesin *finish mill* mengalami laju kerusakan yang menurun. Pada 500 jam setelah mesin bekerja justru mesin *finish mill* bekerja secara normal dikarenakan laju kerusakan menurun namun tidak secara dratis.

#### 4.4 Optimasi Waktu Preventive Berdasarkan Biaya Minimum.

Dalam suatu perencanaan perbaikan (*maintenance*), salah satu hal yang wajib diperhatikan adalah perihal pembiayaan yang nantinya akan timbul dari perbaikan itu sendiri. Selanjutnya akan dibahas mengenai optimasi selang waktu perbaikan yang tepat sehingga dapat meminimumkan biaya.

##### 4.4.1 Optimasi Waktu Preventive Berdasarkan Biaya Minimum Mesin Finish Mill 5

Untuk menentukan waktu *preventive* diperlukan adanya perencanaan yang bisa meminimumkan biaya perawatan. Sebelum menentukan waktu *preventive* dan estimasi biaya, terlebih dahulu menentukan nilai Cf (*Cost of Failure*) dan Cp (*Cost of Preventive*). Berikut ini adalah hasil perhitungan untuk nilai Cf dan Cp.

**Tabel 4.7** Nilai Cf dan Cp Mesin Finish Mill 5

Keterangan	Nilai
Rata-rata <i>downtime</i> per bulan	2,57 hari
<i>Loss Production</i> per bulan	9887,71 ton
Harga semen per ton	Rp. 948.000,00
<i>Cost of Failure</i> (Cf) per bulan	Rp. 3.647.295.041,67
<i>Cost of Preventive</i> per bulan	Rp. 1.340.574.241,67

Setelah mengetahui nilai Cf dan Cp, selanjutnya adalah mensubstitusikan nilai tersebut kedalam persamaan 2.17, dengan nilai  $R(t_p)$  merupakan nilai reliabilitas pada saat ke- $t$  dari persamaan 2.10 dan  $M(t_p)$  adalah probabilitas sempurna dikurangi dari nilai reliabilitas sesuai persamaan 2.10 yang merupakan fungsi untuk distribusi Weibull 3P. Berikut ini hasil substitusi persamaan.

$$C(t_p) = \frac{Rp.1.340.574.241,67 \times R(t_p) + Rp.3.647.295.041,67 \times M(t_p)}{t_p \times R(t_p) + \int_0^{t_p} t f(t) dt}$$

dengan melakukan perhitungan waktu *preventive* mesin saat 1200 jam, maka akan diketahui estimasi biaya minimum sebagai berikut.

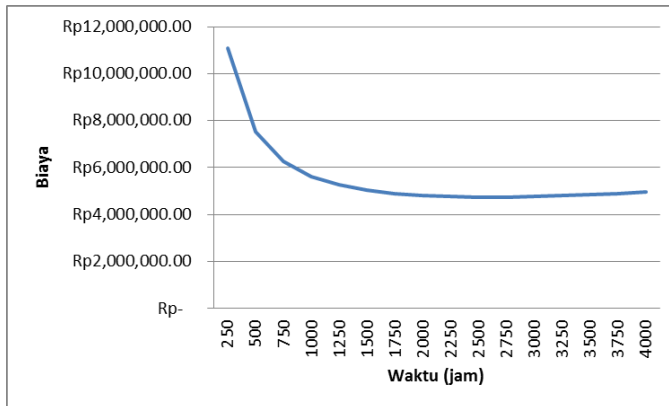
$$C(1200) = \frac{Rp.1.340.574.241,67 \times R(t_p) + Rp.3.647.295.041,67 \times 1 - R(t_p)}{1200 \times R(t_p) + \int_0^{t_p} t f(t) dt}$$

Nilai  $R(1200)$  didapatkan pada hasil nilai reliabilitas pada subbab 4.4 saat mesin *finish mill* 5 beroperasi selama 1200 jam, sedangkan nilai  $M(1200)$  didapatkan dari hasil pengurangan probabilitas sempurna dikurangi nilai reliabilitas saat 100 jam mesin beroperasi. Nilai integral  $t.f(t)$  didapatkan dari melakukan perhitungan manual dengan analisis numerik *trapezoid*. Sehingga didapatkan untuk estimasi biaya *preventive* 1200 jam mesin bekerja sebagai berikut.

$$C(1200) = \text{Rp. } 5.264.343,71$$

Estimasi biaya *preventive maintenance* saat 1200 jam sebesar Rp. 5.264.343,71 per jam kerusakan. Estimasi biaya *preventive maintenance* ini memiliki makna bahwa saat mesin beroperasi selama 1200 jam memerlukan perkiraan biaya *preventive maintenance* sebesar Rp. 5.265.343,71.

Selanjutnya dapat dihitung pula dengan persamaan seperti diatas untuk waktu optimum *preventive maintenance*. Untuk memudahkan dalam mendapatkan nilai  $C(tp)$ , digunakan perhitungan manual dengan berbagai nilai  $t$ . Berikut ini ditampilkan plot nilai  $t$  dan nilai  $C(tp)$ .



**Gambar 4.9** Plot nilai  $t$  dan  $C(tp)$  Mesin *Finish Mill* 5

Nilai estimasi biaya minimum didapatkan dengan mencari titik balik (*turning point*) pada kurva  $C(tp)$ . Berdasarkan Gambar 4.9 dapat dilihat bahwa titik balik terjadi pada saat  $t$  bernilai 2250 jam dengan estimasi biaya minimum sebesar Rp. 4.765.954,57 per jam

kerusakan. Nilai tersebut menyatakan bahwa waktu *preventive* yang terbaik adalah saat mesin *finish mill* bekerja selama 2250 jam atau pada hari ke-94 dengan biaya *preventive maintenance* sebesar Rp. 2.770.594.374,08 yang diperoleh dari hasil perkalian estimasi biaya minimum per jam kerusakan dengan waktu *preventive optimum*. Waktu *preventive* ini lebih baik dibandingkan waktu yang dilakukan oleh perusahaan yaitu saat jam ke 696 atau pada hari ke-30 mesin *finish mill* bekerja. Biaya estimasi dari waktu *preventive* juga lebih minimum dibandingkan dengan waktu *preventive maintenance* sebesar Rp 1.340.574.241,67 per bulan. Nilai  $t$  tersebut sesuai jika mengacu pada nilai MTTF yang didapatkan pada subbab 4.4.1 dari mesin *finish mill* 5 yaitu 2242,7677 jam, dimana nilai waktu *preventive* kurang dari nilai MTTF yang berarti komponen tersebut perlu dilakukan penggantian atau perbaikan sebelum terjadi proses kegagalan mesin bekerja dengan baik.

#### 4.4.2 Optimasi Waktu *Preventive* Berdasarkan Biaya Minimum Mesin *Finish Mill* 6

Untuk menentukan waktu *preventive* mesin *finish mill* 6 diperlukan adanya perencanaan yang bisa meminimumkan biaya perawatan. Sebelum menentukan waktu *preventive* dan estimasi biaya, terlebih dahulu menentukan nilai  $C_f$  (*Cost of Failure*) dan  $C_p$  (*Cost of Preventive*). Berikut ini adalah hasil perhitungan untuk nilai  $C_f$  dan  $C_p$ .

**Tabel 4.8** Nilai  $C_f$  dan  $C_p$  Mesin *Finish Mill* 6

Keterangan	Nilai
Rata-rata <i>downtime</i> per bulan	2,64 hari
<i>Loss Production</i> per bulan	10.256,3267 ton
Harga semen per ton	Rp. 948.000,00
<i>Cost of Failure</i> ( $C_f$ ) per bulan	Rp. 3.682.953.666,67
<i>Cost of Preventive</i> per bulan	Rp. 1.432.991.613,75

Setelah mengetahui nilai  $C_f$  dan  $C_p$ , selanjutnya adalah mensubstitusikan nilai tersebut ke dalam persamaan 2.17, berikut ini hasil substitusinya

$$C(t_p) = \frac{Rp.1.432.991.613,75 \times R(t_p) + Rp.3.682.953.666,67 \times M(t_p)}{t_p \times R(t_p) + \int_0^{t_p} t f(t) dt}$$

dengan melakukan perhitungan waktu *preventive* mesin saat 1200 jam operasi, maka akan diketahui estimasi biaya minimum sebagai berikut.

$$C(1200) = \frac{Rp.1.432.991.613,75 \times R(t_p) + Rp.3.682.953.666,67 \times 1 - R(t_p)}{1200 \times R(t_p) + \int_0^{t_p} t f(t) dt}$$

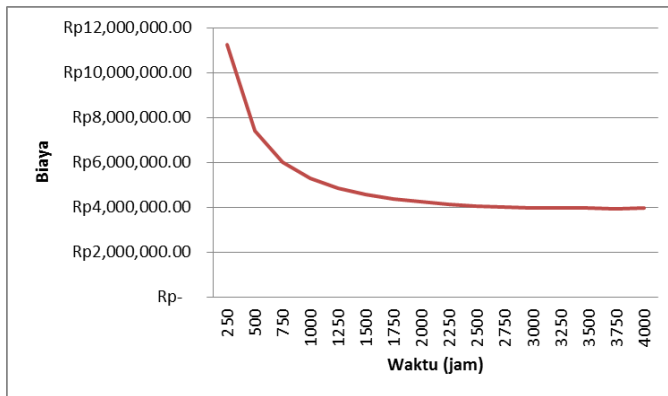
Nilai  $R(1200)$  didapatkan pada hasil nilai reliabilitas pada subbab 4.4 saat mesin *finish mill* 6 beroperasi selama 1200 jam, sedangkan nilai  $M(1200)$  didapatkan dari hasil pengurangan probabilitas sempurna dikurangi nilai reliabilitas saat 100 jam mesin beroperasi. Nilai integral  $t.f(t)$  didapatkan dari melakukan perhitungan manual dengan analisis numerik *trapezoid*. Sehingga didapatkan untuk estimasi biaya *preventive* 1200 jam mesin bekerja sebagai berikut.

$$C(1200) = \text{Rp } 4.873.851,26$$

Estimasi biaya *preventive maintenance* saat 1200 jam sebesar Rp 4.873.851,26 per jam kerusakan. Estimasi biaya *preventive maintenance* ini memiliki makna bahwa saat mesin beroperasi selama 1200 jam memerlukan perkiraan biaya *preventive maintenance* sebesar Rp 6.092.314.073,87. Selanjutnya dapat dihitung pula dengan persamaan seperti diatas untuk waktu optimum *preventive maintenance*.

Untuk memudahkan dalam mendapatkan nilai  $C(tp)$ , digunakan perhitungan manual dengan berbagai nilai  $t$ . Berikut ini ditampilkan plot nilai  $t$  dan nilai  $C(tp)$ .





**Gambar 4.10** Plot nilai  $t_p$  dan  $C(t_p)$  Mesin *Finish Mill* 6

Estimasi biaya minimum didapatkan dengan mencari titik balik (*turning point*) pada kurva  $C(t_p)$ . Berdasarkan Gambar 4.10 dapat dilihat bahwa titik balik terjadi pada saat  $t$  bernilai 2500 jam dengan estimasi biaya minimum sebesar Rp. Rp. 4.074.874,83 per jam kerusakan. Nilai tersebut menyatakan bahwa waktu *preventive* yang terbaik adalah saat mesin *finish mill* bekerja selama 2500 jam atau pada saat operasi 105 hari kerja dengan biaya *preventive* sebesar Rp 2.809.465.735,65. Waktu *preventive* ini lebih baik dibandingkan waktu yang dilakukan oleh perusahaan yaitu saat jam ke 696 atau pada hari ke-30 mesin *finish mill* bekerja. Biaya estimasi dari waktu *preventive* juga lebih minimum dibandingkan dengan waktu *preventive* sebesar Rp 1.432.991.613,75 per bulan. Nilai  $t_p$  tersebut sesuai jika mengacu pada nilai MTTF yang didapatkan pada subbab 4.4.2 dari mesin *finish mill* 6 yaitu 2856,51 jam, dimana nilai waktu *preventive* kurang dari nilai MTTF.

*Halaman Sengaja Dikosongkan*

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan, dapat disimpulkan bahwa

1. Karakteristik data *lifetime* dan *downtime* masing-masing mesin *finish mill* 5 dan *finish mill* 6 berbeda. Berdasarkan rata-rata *lifetime* dan rata-rata *downtime*, mesin *finish mill* 6 perlu diperhatikan. Hal ini dikarenakan mesin *finish mill* 6 memiliki rata-rata *lifetime* lebih lama namun sering mengalami kerusakan sehingga membutuhkan waktu perbaikan yang lama.
2. Berdasarkan data *lifetime* mesin *finish mill* maka distribusi yang sesuai adalah Weibull 3P. Estimasi parameter yang diperoleh untuk masing-masing mesin *finish mill* berbeda. Hal ini diperoleh karena mesin *finish mill* 5 dan 6 memiliki *lifetime* dan total kerusakan yang berbeda.
3. Berdasarkan perhitungan estimasi biaya dan waktu perbaikan minimum, didapatkan estimasi waktu perbaikan sebelum terjadi kerusakan untuk mesin *finish mill* 5 pada waktu 2250 jam dengan biaya paling minimum sebesar Rp. 4.765.954,57 per jam perbaikan. Sedangkan mesin *finish mill* 6, estimasi waktu perbaikan yang disarankan sebelum terjadinya kerusakan yaitu pada 2500 jam dengan biaya paling minimum sebesar Rp. 4.074.874,83 per jam perbaikan. Estimasi waktu dan biaya perbaikan yang disarankan lebih baik dibandingkan dengan perusahaan lakukan saat ini.

#### **5.2 Saran**

Kebijakan waktu perbaikan sebelum terjadinya kerusakan yang disarankan untuk perusahaan mencoba melakukan perbaikan setiap 2250 sampai 2500 jam sebelum mesin *finish mill* mengalami kerusakan. Selain itu, perlu juga dilakukan pendataan yang

lebih mendetail terkait data kerusakan mesin *finish mill* agar diperoleh informasi yang lebih spesifik.

## DAFTAR PUSTAKA

- Astarini, L., & Haryono. (2015). *Analisis Reliabilitas dan Avabilitas pada Mesin Produksi dengan Sistem Seri Menggunakan Pendekatan Analisis Markov di PT "X", Vol. 4 No. 1*(Statistika ITS Jurnal Sains dan Seni).
- Battacharyya, G. K. (1977). *Statistical Concepts and Method*. New York: Wiley.
- Dhillon, B. (2007). *Applied Reliability and Quality*. London: Springer.
- Ebeling, C. (1997). *An Introduction to Reliability and Maintanaibility Engineering*. Singapore: McGraw-Hill.
- Fadhil, M., & Mashuri, M. (2016). *Optimasi Preventive Maintenance Pada Mesin Rotary Klin dengan Metode Analisis Reliabilitas di PT. Semen Indonesia, Tbk Plant Tuban*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Govindarajulu, Z. (2007). *Nonparametrik Inference*(World Scientific Publishing Company Incorporated).
- Hogg, R., & Craig, A. (1995). *Introduction to Mathematical Statistics Fifth Edition*. New York: Prentice Hall.
- Mobley, K., Higgins, L., & Wikoff, D. (2008). In *Maintenance Engginering Handbook* (p. Vol 7). New York: McGraw-Hill Companies.
- PT. Semen Indonesia (Persero), Tbk*. (2014, April 30). Retrieved Februari 9, 2016, from Rapat Umum Pemegang Saham: [www.semenindonesia.com](http://www.semenindonesia.com)

*Halaman Sengaja Dikosongkan*

### Lampiran 1. Data *Lifetime* dan *Downtime* Mesin *Finish Mill* 5 dan 6

Kerusakan Data ke	Mesin <i>Finish Mill</i> 5		Mesin <i>Finish Mill</i> 6	
	<i>Lifetime</i> (jam)	<i>Downtime</i> (jam)	<i>Lifetime</i> (jam)	<i>Downtime</i> (jam)
1	23,32	2,04	378,17	0,58
2	132,33	1,72	15,58	3,05
3	224,58	1,48	183,05	0,91
4	1162,15	2,91	97,92	2,57
5	2056,42	1,12	67,81	0,65
6	149,23	0,97	9318,13	3,11
7	1090,85	2,98	4734,52	2,11
8	152,15	1,36	4235,63	5,21
9	910,23	0,99	13135,73	1,27
10	7,68	0,91	2631,28	7,41
11	3748,77	14,78	3390,58	1,81
12	802,52	2,71	2171,67	3,11
13	1515,87	2,28		
14	1180,57	0,83		
15	4427,47	1,71		
16	2450,71	1,28		
17	157,75	5,27		
18	8082,47	1,45		
19	563,13	2,71		
20	7453,23	2,00		

### Lampiran 2. Statistika Deskriptif Mesin *Finish Mill*

<i>Variable</i>	<i>N</i>	<i>Mean</i>	<i>Variance</i>	<i>Min,</i>	<i>Max,</i>	<i>Range</i>
<i>Lifetime 5</i>	20	1815	5635514	8	8082	8075
<i>Lifetime 6</i>	12	3363	17028504	16	13136	13120
<i>Downtime 5</i>	20	2,574	9,339	0,833	14,783	13,95
<i>Downtime 6</i>	12	2,643	3,993	0,58	7,4	6,82

**Lampiran 3. Rekapitulasi Produksi Semen Mesin *Finish Mill* Mesin *Finish Mill* 5**

	2012	2013	2014	2015	Rata-Rata
RAP (ton)	1.389.378	1.448.418	1.525.686	1.487.382	1.462.716
Produksi (ton)	1.476.842	1.387.869	1.377.896	1.297.589	1.385.049
Selisih (ton)	-87.464	60.549	147.790	189.793	77.667

**Mesin *Finish Mill* 6**

	2012	2013	2014	2015	Ave
RAP (ton)	1.447.543	1.435.106	1.463.283	1.463.153	1.452.271
Produksi (ton)	1.426.148	1.432.454	1.423.689	1.312.069	1.398.590
Selisih (ton)	21.395	2.652	39.594	151.084	53.681

**Lampiran 4. Rekapitulasi Biaya *Preventive Maintenance* Mesin *Finish Mill***

<i>Finish Mill</i>	Tahun 2014 (dalam Rp.)	Tahun 2015 (dalam Rp.)	Tahun 2016 (dalam Rp.)	Rata-Rata per bulan (dalam Rp.)
Mesin 5	17.133.477.451	15.246.488.469	15.880.706.780	1.340.574.242
Mesin 6	19.643.320.850	16.943.213.964	15.001.163.281	1.432.991.614



***Lampiran 5. Output Optimasi  $t_p$  dan  $C_{tp}$  Preventive Maintenance***

t(jam)	C(tp)	
	Mesin 5	Mesin 6
250	Rp 11.082.377,50	Rp 11.237.862,4
500	Rp 7.515.161,23	Rp 7.405.938,19
750	Rp 6.258.799,18	Rp 6.024.096,30
1000	Rp 5.628.652,36	Rp 5.307.848,24
1250	Rp 5.264.343,71	Rp 4.873.851,26
1500	Rp 5.039.898,87	Rp 4.587.815,48
1750	Rp 4.899.233,59	Rp 4.389.877,38
2000	Rp 4.813.423,18	Rp 4.249.067,11
2250	Rp 4.765.954,57	Rp 4.147.692,55
2500	Rp 4.746.701,52	Rp 4.074.874,83
2750	Rp 4.749.090,19	Rp 4.023.518,83
3000	Rp 4.768.672,02	Rp 3.988.816,49
3250	Rp 4.802.326,82	Rp 3.967.362,96
3500	Rp 4.847.805,85	Rp 3.956.697,63
3750	Rp 4.903.443,88	Rp 3.954.980,47
4000	Rp 4.968.023,13	Rp 3.960.824,31

*Halaman Sengaja Dikosongkan*



### **BIODATA PENULIS**

Penulis bernama Ayub Samuel Yosepha, lahir di Magetan, 27 November 1993. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Jenjang pendidikan yang telah ditempuh penulis adalah SDK Santa Maria (2000-2006), SMP Negeri 1 Magetan (2006-2009), SMA Negeri 1 Magetan (2009-2012) dan Jurusan Statistika Institut Teknologi Sepuluh Nopember (2012-2015) melalui program seleksi masuk regular diploma dengan jalur beasiswa bidik misi. Selanjutnya penulis melanjutkan pendidikan di S-1 Lintas Jalur Jurusan Statistika FMIPA ITS (2015-2017). Penulis pernah menjadi bagian keluarga  $\Sigma 23$  "EXCELLENT". Penulis pernah aktif di Himpunan Mahasiswa Statistika ITS (HIMASTA-ITS) pada tahun 2013-2014 sebagai staff Tim Ahli, Badan Eksekutif Mahasiswa FMIPA (BEM FMIPA) pada tahun 2014-2015 sebagai Ketua Badan Koordinasi Pemandu FMIPA dan Badan Eksekutif Mahasiswa ITS sebagai Wakil Ketua Badan Koordinasi Pemandu ITS. Penulis juga aktif di berbagai kegiatan dan kepanitiaan di ITS antara lain ITS Expo, GERIGI ITS, dan lainnya. Selain itu penulis juga aktif di bidang manajerial LKMM dan Kepemanduan di ITS hingga berkesempatan menjadi salah satu bagian dari Tim Pemandu LKMM TM ITS 2015 dan 2016.

Segala saran dan kritik yang membangun selalu penulis harapkan untuk kebaikan ke depannya. Penulis dapat dihubungi melalui email johannjoseph13@gmail.com.